

А. И. АРЦЕВ

ИНЖЕНЕРНО-  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
И ГИДРО-  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
ДЛЯ ВОДО-  
СНАБЖЕНИЯ  
И ВОДО-  
ОТВЕДЕНИЯ

А И. АРЦЕВ

ИНЖЕНЕРНО-  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
И ГИДРО-  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
ДЛЯ ВОДО-  
СНАБЖЕНИЯ  
И ВОДО-  
ОТВЕДЕНИЯ



МОСКВА «НЕДРА» 1979

**Арцев А. И.** Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования для водоснабжения и водоотведения. М., Недра, 1979. 285 с.

В книге освещены вопросы инженерно-геологических и гидрогеологических исследований для проектирования систем водоснабжения, водоотведения и связанных с ними гидротехнических сооружений (водохранилищ, хвостовых и шламохранилищ, прудов, полей фильтрации, орошения и др.).

Охарактеризованы состав и конструктивные особенности сооружений в зависимости от источников водоснабжения и источников образования проток, состав проток и их характеристика как загрязнителей подземных и поверхностных вод.

Даны состав, объем и методика инженерно-геологических и гидрогеологических исследований применительно к природным условиям, конструктивным особенностям сооружений и характеру их взаимодействия с грунтами и грунтовыми водами при строительстве и эксплуатации.

Кратко изложены специальные вопросы инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, прогноз упрочнения слабых грунтов основания сооружений в процессе строительства, уровня режима грунтовых вод на строительных площадках, методика исследований для инфильтрационных водозаборов, а также основные положения инженерно-геологических исследований на территориях с особыми природными условиями.

Книга рассчитана на специалистов, работающих в области изысканий и проектирования водоснабжения, водоотведения и гидротехнических сооружений. Она может быть полезной студентам инженерно-геологической и гидрогеологической специальности вузов и техникумов, а также строительных вузов по специальности «Водоснабжение и канализация».

Табл. 24, ил. 56, список лит. — 160 назв.

Сооружения систем водоснабжения и водоотведения отличаются от промышленных и гражданских сооружений тем, что их формы и конструкции будучи обусловлены технологией забора воды, ее подготовки, хранения и транспортирования, сбора, очистки, накопления, сброса и утилизации промышленных сточных вод являются как бы элементами этой технологии, предопределяя ее направление, интенсивность процесса, надежность получения конечного результата. Сооружения в большинстве своем емкостные, весьма чувствительные ко всякого рода изменениям инженерно-геологических и гидрогеологических условий мест их размещения.

Одни из них размещаются обязательно у водотоков и водоемов, а также частично или полностью в их акваториях — местах наибольшего проявления факторов возможного изменения инженерно-геологических условий при строительстве и эксплуатации сооружений. Последние здесь возводятся специальными способами производства строительных работ. Другие сооружения этих систем возводятся непосредственно на поверхности земли или выше нее на подсыпках либо, наоборот, заглубляются в землю и в этом случае создаются путем выемок и обвалования на обширных площадях.

В системах водоснабжения и водоотведения сооружаются крупные водохранилища, хвостохранилища и шламохранилища часто с высоконапорными плотинами и дамбами.

Очевидно, для обоснования проектов систем водоснабжения, водоотведения и связанных с ними гидротехнических сооружений требуется иной подход к постановке инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, отличный от приведенного в общетехнической и нормативной литературе по инженерным изысканиям для промышленного и гражданского строительства. Этим определилась необходимость составления специальной работы по инженерно-геологическим и гидрогеологическим исследованиям для проектирования систем водоснабжения и водоотведения, тем более, что такого рода работ практически нет. В вышедшей в 1971 г. книге В. А. Каширского, Н. С. Липатова и Я. М. Орлова [74] освещаются главным образом вопросы топогеодезических работ и лишь некоторые общие положения методики производства отдельных видов инженерно-геологических изысканий.

В предлагаемой читателю книге освещается наиболее важный вид инженерных изысканий — инженерно-геологические и гидрогеологические исследования (их состав, объемы и методика) при-



нительно к природным условиям мест размещения сооружений, их типам и конструктивным особенностям.

Целенаправленное и с наибольшим экономическим и техническим эффектом выполнение инженерно-геологических и гидрогеологических исследований возможно лишь тогда, когда известны не только тип проектируемых сооружений, но и форма их, конструкция, глубина заложения, способ возведения, а также задачи, связанные с инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, которые приходится решать при их проектировании.

В книге сделана попытка дать ответы на вопросы, встающие перед изыскателем-геологом: о составе, методике и объеме инженерно-геологических и гидрогеологических исследований для проектирования различного рода сооружений в тех или иных природных условиях.

При этом автор исходил главным образом из опыта и изложил личные взгляды в отношении состава и объема инженерно-геологических и гидрогеологических исследований для проектирования и строительства систем водоснабжения, водоотведения и связанных с ними гидротехнических сооружений.

Автор далек от мысли, что инженер-геолог найдет в этой книге готовые рецепты для определения состава, вида и объема исследований в любых случаях природных и технических условий, но полагает, что она поможет ему правильно мыслить в этом направлении. К этому именно автор и стремился, излагая те или иные рекомендации по составу, виду, объему и отчасти по методике инженерно-геологических и гидрогеологических исследований в зависимости от характера природных условий, в которых размещаются сооружения, типа и конструкции сооружений и требований к материалам исследований для их проектирования и строительства.

Программа написания книги была просмотрена и одобрена Н. Н. Кригером, Ф. М. Бочевером, Л. С. Язвиным, Н. А. Плотниковым. Всем им автор выражает глубокую признательность. Автором с благодарностью были учтены замечания Ф. М. Бочевера и В. М. Гольдберга по общему содержанию работы. Искреннюю признательность автор выражает Х. С. Арцевой за изготовление рисунков и подготовку рукописи к печати.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. ЗНАЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ  
И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Инженерные изыскания вообще и инженерно-геологические и гидрогеологические исследования в частности самостоятельного значения не имеют и приобретают определенный практический и научный смысл лишь в связи с задачами проектирования и строительства сооружений. Это обстоятельство, однако, несколько не умаляет роли и значения изысканий для проектирования и строительства различного рода гражданских, промышленных и гидротехнических сооружений.

В общей инженерно-строительной деятельности инженерно-геологические и гидрогеологические исследования являются первым шагом, не только определяющим степень обоснованности выбора места размещения того или иного сооружения, но и накладывающим определенный отпечаток на весь ход дальнейшей работы по его проектированию, строительству и эксплуатации. Примеров влияния указанных исследований на проектирование сооружений, их конструкцию, способы и стоимость строительства множество.

Так, при составлении проекта осушения Апшеронского полуострова проектировщики, полагая (по материалам недостаточно целенаправленных гидрогеологических исследований), что территория обводняется подземными водами, наместили сооружение глубоких дренажей и опускных колодцев под насосные станции со сложным производством строительных работ и высокой их стоимостью. Когда детальными изысканиями было доказано, что источниками обводнения территории нефтяных промыслов являются поверхностные сточные и буровые воды, коренным образом изменились состав и тип проектируемых сооружений, упростился способ и в несколько раз снизилась стоимость строительства сооружений.

При гидрогеологических исследованиях в Татарии и Башкирии для инфильтрационных водозаборов систем поддержания давления в нефтяных пластах путем закачки в них воды в первый период исследований (1946—1948 гг.) русла водотоков (водоемов) на участках размещения водозаборов не изучались и при оценке эксплуатационных дебитов водозаборов фильтрационное несовершенство русел не учитывалось. Это привело к тому, что фактиче-

ский эксплуатационный дебит ряда водозаборов оказался в 2—4 раза меньше проектного [10].

По инженерно-геологическим исследованиям для проектного задания одного из гидроузлов грунты основания плотины были оценены как достаточно прочные с сопротивлением сдвигу  $\text{tg } \psi = 0,425\text{—}0,524$ . По этим данным был определен профиль плотины, подсчитаны объемы работ и строительная стоимость сооружения. При изысканиях для рабочих чертежей в основании плотины на отдельных участках поймы были обнаружены илы и другие слабые отложения старичных фаций с сопротивлением сдвигу  $\text{tg } \psi = 0,360$ , т. е. грунты, на которых плотина с принятым в проекте профилем оказалась неустойчивой. В связи с этим пришлось уточнять проект: уширять основание плотины, уполаживать откосы и пересчитывать стоимость строительства.

Изысканиями для проекта водохранилища в равнинной области инженерно-геологические условия створа плотины не были выявлены в полной мере; отчет об изысканиях был составлен также недостаточно целенаправленно, без учета влияния геологических условий на выбор метода производства строительных работ и на сооружения после их возведения.

В связи с этим при строительстве гидроузла произошли крупные оползни и обрушения откосов котлованов под насосную станцию и канал донного водоспуска, что привело к остановке строительства, проведению дополнительных изысканий, перепроектированию схемы гидроузла и отдалению срока ввода сооружения в эксплуатацию.

При инженерно-геологических исследованиях для строительства водохранилища в Казахстане недостаточно полно были выявлены условия залегания и фильтрационные свойства пород участка размещения головного узла, в результате чего выстроенной плотинной не удавалось поднять уровень воды в водохранилище до проектной отметки. В связи с этим пришлось проводить на плотине дополнительные изыскания, проектировать противофильтрационные мероприятия, осуществление которых на уже выстроенном сооружении оказалось значительно труднее и дороже, чем если бы они были проведены по основному проекту. Экономический ущерб здесь состоял еще и в том, что горнорудное предприятие в течение двух лет не получало потребного количества воды и работало не на полную мощность.

По трансибирскому нефтепроводу, протянувшемуся на тысячи километров от Туймазы (Башкирия) до Иркутска, водоснабжение большого числа нефтеперекачечных станций было запроектировано и утверждено из открытых источников. Изыскания на подземные воды позволили отказаться от открытых источников, перейти на подземные воды и сэкономить миллионы рублей на строительстве водопроводов.

Нередко всякого рода осложнения при строительстве сооружений бывают связаны с недостаточным объемом и составом ин-

женерно-геологических исследований, ненужной экономией на изысканиях. Например, в г. Волгограде на одном из заводов при строительстве цеха просела часть фундаментов. Причина — наличие в пределах площадки, сложенной плотными глинами, засыпанного оврага, пропущенного при бурении скважины по редкой сети. В результате потребовалось применить сваи и изменить конструкцию фундаментов [1].

При строительстве здания ЦСУ в Москве свайный тип фундамента был выбран по результатам бурения лишь одной скважины, случайно попавшей на засыпанный колодец. Здесь, наоборот, при вскрытии котлована пришлось отказаться от свай и располагать фундаменты на естественном основании [1]. Таких примеров из практики изысканий, проектирования и строительства немало, но и приведенных достаточно, чтобы подчеркнуть огромное технико-экономическое значение изысканий и сформулировать их роль в проектировании так инженерные изыскания, результаты которых не только служат исходными данными для проектирования, но и являются его составной частью, оказывают прямое влияние на качество и сроки проектирования, выбор схемы и типа сооружений, их строительную стоимость, работу выстроенных сооружений, их долговечность и условия эксплуатации.

В проектировании же эксплуатации месторождений твердых и жидких полезных ископаемых геологические и гидрогеологические изыскания играют ведущую роль, поскольку именно геологом определяются качество полезного ископаемого, его запасы, форма тел, условия залегания и эксплуатации. В связи с этим вопрос о целесообразности капиталовложения на сооружения для эксплуатации месторождений данных полезных ископаемых целиком решается геологической службой. Это, однако, не противоречит отмеченному выше положению о подчиненной роли инженерных изысканий, а лишь подчеркивает важное их значение в общем комплексе проектно-изыскательских и строительных работ.

Инженерные изыскания — широкий комплекс естественноисторических и инженерных натуральных и лабораторных, экспериментальных и теоретических исследований природных условий объекта, намечаемого к использованию в народном хозяйстве. Изыскания — творческий процесс исследования всеми известными методами и способами (съежек, бурения, шурфования, зондирования, откачек-нагнетаний, физико-механических и физико-химических испытаний и др.), анализ и обобщение полученных результатов, математических расчетов и прогнозов, а не просто производство отдельных видов работ — съежечных, буровых, горнопроходческих и др.

## **2. КАЧЕСТВО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Под качеством инженерно-геологических и гидрогеологических исследований следует понимать количество достоверной информации о предмете исследований (об инженерно-геологических

или гидрогеологических условиях), позволяющее решать с заданной точностью задачи проектирования и строительства.

Количество информации о предмете исследований, обретающее категорию качества, — различное для разных объектов и стадий проектирования. Для данного предмета и данной стадии исследований оно должно быть не меньше такого минимума, при котором проект может быть достаточно обоснован. В этом смысле особое значение имеет степень достоверности каждого отдельного элемента информации.

Можно располагать, например, по участку площадью 1 км<sup>2</sup> сотней определений, в частности, коэффициента фильтрации водоносного пласта, но принять (определить) его расчетное значение не представляется возможным, так как опытные откачки проведены без соблюдения теоретически обоснованных и проверенных на практике правил, способов, методов производства этого вида изыскательских работ (в отношении бурения скважин, их оборудования фильтром, конструкции фильтра, величин и числа понижений, наблюдений за откачкой, ее документации и др.) и характеризуют не фильтрационные свойства пласта, а сам эксперимент — опытную откачку.

Но и при достоверности всех полученных определений коэффициента фильтрации может оказаться невозможным выявить фильтрационную неоднородность пласта по вертикали, если все откачки проведены «суммарно» для всей мощности пласта, или фильтрационную неоднородность пласта в плане, если все опытные откачки сосредоточены лишь на части участка.

В действительности же для выявления на указанном участке фильтрационных свойств пласта в целом при его однородности или незакономерной скачкообразной неоднородности достаточно иметь, например, 10—15 равномерно распределенных по участку и достоверных определений коэффициента фильтрации, а для выявления фильтрационной неоднородности пласта по вертикали — зональные откачки в этих 10—15 точках.

Можно располагать данными описания пород по 150 точкам искусственных и естественных обнажений на каждом квадратном километре изучаемой площади, что примерно в 2 раза больше нормы для геологической съемки масштаба 1 : 5000 при проектировании сооружений I—II классов в условиях II категории сложности инженерно-геологических условий. Однако построить геологическую карту и отразить на ней геологическую структуру снимаемой площади может оказаться невозможным, если в начале съемки не выделены маркирующие горизонты, недостаточно изучена тектоника, не прослежены в натуре (в поле) геологические границы отложений в их увязке с характером рельефа снимаемой площади, не привлечены вспомогательные факторы-индикаторы: окраска почв, состав растительности и др.

Из всего этого следует, что важнейшим условием обеспечения качества изысканий является правильность выбора и применения

метода исследований, обусловленная сущностью предмета исследований и условиями, в которых они должны быть выполнены. При полном учете особенностей предмета исследований и условий их проведения разными исполнителями будет выбран один и тот же метод. Таким образом, метод исследований, который рассматривается нами в данном случае применительно к изысканиям как совокупность упорядоченных, связанных между собой действий, последовательно и наиболее целесообразно направленных на решение той или иной задачи, является объективной категорией.

Правильно выбранный метод исследований в любом деле не только обеспечивает получение положительного результата, но и приводит к нему кратчайшим и наиболее экономичным путем. Это положение имеет особое значение и в изысканиях, поскольку для определения их стоимости, составляющей в общем по стране сотни миллионов рублей, нет иного достаточно объективного критерия.

Изыскания, как известно, состоят из полевых, лабораторных и камеральных работ. От производственно-технического и научного уровня исполнения работ в каждом из этих звеньев в равной мере зависит качество изысканий. Решающими, однако, являются полевые работы, в результате которых получают исходные материалы и данные для их камеральной обработки, анализа и обобщения и для лабораторных исследований. Поэтому полевой документации всех видов полевых изыскательских работ должно уделяться особое внимание, качественная полевая документация изысканий должна обеспечиваться организационной структурой полевых экспедиций (партий) и составом специалистов для технического руководства изысканиями, их исполнения и технического контроля.

### **3 СВЯЗЬ ИЗЫСКАНИЙ С ПРОЕКТИРОВАНИЕМ И СТРОИТЕЛЬСТВОМ**

Качество инженерно-геологических изысканий в значительной мере зависит еще от одного фактора — связи изысканий с проектированием. В данном случае имеется в виду, с одной стороны, наличие у изыскателя знаний о назначении (технологических функциях) проектируемых сооружений, их конструктивной схеме, размещении сооружений в грунтовой среде (в плане и по глубине), составе необходимых данных для проектирования (выбора типа и конструкции сооружения, материалов для его строительства, способа строительства, расчета прочности и устойчивости сооружения) и о методах производства строительных работ, а также об особенностях взаимодействия сооружений с грунтовой средой при эксплуатации. С другой стороны, проектировщик должен обладать общими знаниями в области геологии, инженерной геологии и гидрогеологии, а также в отношении содержания и физического смысла основных показателей, которыми обычно количественно

характеризуются инженерно-геологические и гидрогеологические условия.

Наличие у изыскателей и проектировщиков таких знаний еще не означает наличия взаимосвязи между изысканиями и проектированием; действительная связь осуществляется лишь при реализации этих знаний в процессе совместной работы изыскателя и проектировщика — от составления технического задания на изыскания и разработки программы их проведения до окончания проекта сооружений.

Следует отметить, что положительное влияние на изыскания и проектирование их взаимосвязи возможно лишь при исключении какой бы то ни было подмены проектировщиком геолога и наоборот. При все большей и важной роли геолога в проектировании и строительстве сооружений его роль в решении вопросов выбора типов фундаментов, конструкций сооружений и способов производства строительных работ консультативная.

Геолог обязан не только показать с наибольшей полнотой природную инженерно-геологическую обстановку места размещения проектируемых сооружений, но и дать прогноз возможного ее изменения при строительстве и эксплуатации сооружений. Он должен также специально отметить для проектировщика и строителя, какие инженерно-геологические и гидрогеологические факторы и явления, действующие в естественных условиях или могущие возникнуть при строительстве и эксплуатации сооружений, необходимо учитывать при выборе того или иного типа основания сооружений, их конструкций и способов строительства.

Геолог должен совместно с проектировщиком принимать участие в рассмотрении намеченных последним вариантов типов, конструкций сооружений и способов их строительства, их обоснования и выбора наиболее экономичных из них. При этом геолог должен уметь показать при необходимости слабые стороны проекта и помочь проектировщику найти наиболее экономичное решение задачи.

Роль геолога при разработке проектов разного рода сооружений различна: при одних меньшая (проекты гражданских и промышленных сооружений на территориях с нормальными инженерно-геологическими условиями), при других большая (проекты гидротехнических сооружений, водозаборов подземных вод и других сооружений на территориях с особыми инженерно-геологическими условиями — карстом, оползнями, просадочными и пучинистыми грунтами, вечной мерзлотой и др.).

Так, при проектировании, в частности, водозаборов подземных вод, водохранилищ и водохранилищных плотин, дренажных, противооползневых сооружений геолог должен рекомендовать тип и схему водозабора и конструкцию водозахватных устройств, створ, расположения плотины и мест примыкания к склонам долины, размещение паводкового водослива, донного водоспуска, местополо-

жение, глубину заложения и тип дренажа и противооползневых сооружений и др.

Внося те или иные предложения для их учета при проектировании, геолог должен помнить, что: окончательный выбор типов и схем сооружений, их конструкций и мест размещения остается за проектировщиком; последний осуществляет выбор варианта на основе технико-экономических расчетов, степень достоверности которых тем выше, чем полнее и достовернее представленная геологом информация.

#### **4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ НА ИЗЫСКАНИЯ И ПРОГРАММЫ ИЗЫСКАНИЙ**

Техническое задание на изыскания выдается главным инженером проекта. Оно является первым проектным документом, первым шагом проектировщика в работе по проектированию данного объекта. От качества и полноты технического задания на изыскания зависят качество и сроки исполнения изысканий.

В техническом задании на изыскания в сжатой форме должен быть раскрыт технический замысел проектирования, указан состав проекта, дана намечаемая схема размещения проектируемых сооружений, приведены сведения о предполагаемых типе, размере, конструкции, заглублении сооружений, материале для их возведения и способе производства строительных работ, сформулированы основные требования к материалам изысканий для проектирования.

Задания на изыскания не следует сводить к указаниям состава, вида и объемов изыскательских работ (числа выработок, шага между ними, их глубины, диаметра, числа опытных откачек, проб грунтов на анализ и т. п.), как это нередко делается проектировщиками. По такому заданию можно выполнить лишь указанный физический объем работ, а не изыскания для проектирования.

Определение видов и объемов изыскательских работ для проектирования того или иного объекта — задача сложная и может быть решена на основе знаний состава проектируемых сооружений и природных условий места их размещения лишь высококвалифицированным, с большим опытом работы инженером-геологом и не сразу, а последовательно: в первом приближении в программе работ, во втором — уточнением программы в процессе изысканий.

Вторым документом проектно-изыскательских работ является программа (или проект) изысканий — важнейший в методическом и производственном отношении документ, предопределяющий качество изысканий, сроки их исполнения и стоимость.

Программа составляется на основании технического задания на изыскания, согласовывается с главным инженером проекта и утверждается руководством отдела изысканий, руководством института или техническим советом института в зависимости от сложности изысканий и их стоимости. В качестве номинального



критерия этой зависимости можно рекомендовать следующее: при стоимости изысканий до 50 тыс. руб. программа утверждается руководством отдела изысканий, при стоимости от 50 до 150 тыс. руб. — руководством института, при стоимости свыше 150 тыс. руб. — программа подлежит рассмотрению на техническом совете института и утверждению по его решению.

Программа должна содержать указания цели и задачи исследований и основные сведения о природных условиях района предстоящих изысканий: геологическом строении и гидрогеологических условиях участков расположения проектируемых сооружений, наличии и характере физико-геологических явлений и процессов или отсутствии их (по литературным, фондовым материалам предыдущих исследований), об использовании земельных угодий и подземных вод, имеющихся строениях (гражданских, промышленных, гидротехнических), опыте строительства и эксплуатации имеющихся сооружений. В программе должны быть приведены состав проектируемых сооружений, их конструктивные особенности и обоснование видов, объемов и методики полевых и лабораторных исследований для получения необходимых данных для проектирования.

В программе должны быть указаны сроки представления материалов изысканий для проектирования, а также состав и количество технического персонала и рабочих, оборудования, материалов, транспортных средств, вспомогательных служб (база, мастерская, лаборатория и др.), необходимых для выполнения намеченных программой работ.

По программе изысканий составляется смета их стоимости в соответствии с действующим прейскурантом на проектно-изыскательские работы.

В процессе производства изысканий в зависимости от местных естественных и организационно-технических условий программа может изменяться и уточняться во всех частях — составе, объеме и методике работ. Принципиальные изменения программы (направления исследований, метода и методики их проведения) следует согласовывать с инстанцией, утвердившей программу. Изменения программы изысканий, увеличивающие их стоимость, согласовываются с заказчиком и оформляются дополнительным к основному договору соглашением.

## 5. СТАДИИ ИЗЫСКАНИЙ

Стадии изысканий определяются стадиями проектирования. Последнее согласно инструкции по разработке проектов и смет для промышленного строительства (СН-202-76) может осуществляться в две стадии — технический проект и рабочие чертежи; в одну стадию — технорабочий проект (технический проект, совмещенный с рабочими чертежами).

Проектирование в одну стадию ведется по объектам, строительство которых намечается осуществлять по типовым и повторно

применяемым экономичным индивидуальным проектам, а также по технически несложным объектам. По всем другим, выходящим за эти рамки объектам проекты разрабатываются в две стадии.

Системы сооружений водоснабжения и водоотведения относятся, как правило, к сложным объектам проектирования; разработка проектов по ним ведется в две стадии, в соответствии с чем инженерные изыскания для проектирования также ведутся в две стадии.

Разработка проектов сооружений систем водоснабжения и водоотведения в две или одну стадию осуществляется на основе предпроектных работ технико-экономического обоснования (ТЭО), схемы или единого генерального плана промузла по комплексному использованию водных ресурсов в данном районе и их охране от загрязнения жидкими и твердыми отходами производства и населенных мест

Составление ТЭО, схем, единых генеральных планов осуществляется, как правило, по литературным и фондовым материалам ранее проводившихся с различной целью исследований природных условий данного района и материалам целевых (в связи с данной предпроектной разработкой) комплексных исследований. При этом следует учитывать, что строительная стоимость сооружений, определенная на стадии ТЭО и утвержденная в планирующих органах, в дальнейшем в техническом (техпоясочном) проекте не может быть изменена в сторону увеличения. Поэтому во всех необходимых случаях для уточнения принципиальных сторон инженерно-геологических и гидрогеологических условий, существенно влияющих на выбор конструкции сооружений и их строительную стоимость, при комплексных исследованиях на стадии ТЭО выполняется необходимый объем полевых изысканий, состав которых определяется в зависимости от степени инженерно-геологической и гидрогеологической изученности района размещения проектируемых сооружений.

Технический проект разрабатывается по материалам детальных изысканий, соответствующих такой степени изученности инженерно-геологических и гидрогеологических условий, при которой последующие исследования (на стадии рабочих чертежей) не должны вызывать принципиальных изменений проекта в части конструкций сооружений, способов их возведения и строительной стоимости.

## **6. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СОСТАВ, ОБЪЕМ И МЕТОДИКУ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Основными факторами, определяющими состав, объем, методику и способы проведения инженерно-геологических и гидрогеологических исследований для строительства, являются состав, назначение, тип и класс проектируемых сооружений; инженерно-геологические условия участка района, в пределах которого на-

мечается разместить сооружения; особенности взаимодействия сооружений с горными породами и подземными водами; стадии проектирования; степень геологической и гидрогеологической изученности района и участка проектируемого размещения сооружений.

Перечисленные факторы оказывают на состав, объем и методику инженерно-геологических и гидрогеологических исследований различное влияние. Так, чем выше класс проектируемого сооружения, сложнее природная обстановка, в которой оно размещается, специфичнее взаимодействия сооружения с грунтами и подземными водами, выше стадия проектирования и ниже степень изученности геологического строения и гидрогеологических условий местоположения проектируемого размещения сооружения, тем более полные по составу и объему должны быть изыскания.

При прочих равных условиях решающими являются два первых фактора, поскольку составом, назначением, типом и классом проектируемых сооружений и инженерно-геологическими и гидрогеологическими особенностями площади их расположения определяются не только виды, объемы и способы проведения инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, но и состав самих исследований. В соответствии с этим в одних случаях, например при изысканиях для строительства крупного узла гидротехнических сооружений в сложных природных условиях, в состав инженерно-геологических исследований может войти весь известный в практике комплекс их видов и методов, в других, например при изысканиях для строительства отдельного здания в простых инженерно-геологических условиях, — полевые и лабораторные изыскательские работы могут свестись к двум-трем их видам.

Общим условием инженерно-геологических и гидрогеологических исследований для строительства является необходимость получения в результате их выполнения в каждом конкретном случае методически обоснованными и экономически оправданными методами такой информации о природных условиях места размещения сооружений, которая позволяет запроектировать наиболее рациональный для данных условий тип и схему сооружений и определить способы работ по их возведению. Это возможно лишь при наличии действительной взаимосвязи изысканий с проектированием.

При разработке программы инженерно-геологических и гидрогеологических исследований и определении их состава, объема и методики следует руководствоваться соответствующими инструкциями, рекомендациями и пособиями, учитывающими отечественный и зарубежный опыт постановки и производства изысканий для строительства. Однако следует избегать формализма при использовании этих технических документов, учитывая, что они содержат рекомендации лишь общего характера, и назначать объем исследований в соответствии с конкретными задачами проектирования.

Формальный (к сожалению, встречающийся еще на практике) набор видов и объемов полевых и лабораторных инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, при котором многие виды оказываются ненужными (например, определение компрессионных свойств и сопротивления сдвигу грунтов, слагающих площадки различного рода прудов промышленных сточных вод, размещаемых в естественных понижениях рельефа с обвалованием дамбами высотой до 2—3 м), а необходимых недостаточно (например, данных для расчета фильтрации и определения путей и скорости растекания промстоков из тех же прудов), приводит в одних случаях к неоправданному удорожанию работ, в других — к необходимости повторного их проведения, что является показателем низкого технического уровня инженерных изысканий.

К числу факторов, нередко привлекаемых для обоснования состава и объема изысканий, относят сроки (как правило, короткие) представления материалов для проектирования того или иного объекта. Фактор времени следует учитывать при составлении программы изысканий лишь в части организации экспедиции (партии), оснащения ее оборудованием, транспортными средствами и комплектования кадрами для выполнения изысканий в срок. Сокращать же объем изысканий ввиду короткого (часто необоснованного) срока для их выполнения не следует. Состав и объем изысканий должны намечаться в полном соответствии с приведенными выше объективными факторами; для их выполнения в срок должны предусматриваться необходимые организационно-технические мероприятия. При этом следует иметь в виду, что, как показывает практика, для выполнения изысканий в необходимом их объеме времени оказывается всегда достаточно, если материалы изысканий представляются по ходу проектирования, а последнее ведется в тесной связи с изысканиями.

## **ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

### **1. СОСТАВ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СООРУЖЕНИЙ**

Для водоснабжения используются различные источники поверхностных вод: реки, каналы, озера, водохранилища, моря. Состав сооружений водопровода в целом зависит от рода источника, его гидрологического режима, геоморфологического и геологического строения участка расположения сооружений и от вида водоснабжения (питьевое, производственное или то и другое одновременно).

Так, в частности, при использовании в качестве источника питьевого водоснабжения равнинных рек без регулирования их стока в состав водопровода входят сооружения по собственно забору воды, ее подготовке и транспортировке от источника к потребителю.

Эти сооружения располагаются по движению воды от источника к потребителю и в общем случае состоят из (рис. 1): водоприемных устройств; насосной станции первого подъема; очистных сооружений, включающих здания реагентного хозяйства, камеры реакций (хлопьеобразования), сооружений для осаждения хлопьев и осветления воды, резервуаров осветленной воды, насосной станции второго подъема, магистральных водоводов и сооружений на них (колодцы, дюкеры, тоннели и др.).

Сооружениями для осаждения хлопьев и осветления воды в зависимости от объема воды, подлежащей очистке, ее цветности и содержания в ней взвеси могут быть горизонтальные или вертикальные отстойники, грубозернистые напорные фильтры, контактные осветлители или осветлители со взвешенным осадком, при так называемой двухступенной очистке одновременно и отстойники и фильтры.

При очень мутной воде (такой, например, как в низовьях рек Куры, Амударьи и др.) перед подачей ее в здание реагентного хозяйства на смешение производится предварительный ее отстой в радиальных отстойниках или земляных емкостях.

К приведенному выше перечню сооружений следует добавить водоводы в пределах от насосной станции первого подъема до насосной станции второго подъема и колодцы на них, а также водо-

напорные башни или распределительные резервуары, сооружаемые непосредственно у водопотребителя в случаях, когда насосной станцией второго или  $n$ -го подъема не обеспечивается подача воды из магистральных водоводов непосредственно в распределительную сеть.

В зависимости от расположения в речном потоке (что определяется морфологией берега и русла реки, уровненным и ледовым режимом ее, динамикой руслового потока и геолого-литологическим строением участка береговой полосы) водоприемные сооружения делятся на два основных типа — береговые и русловые.

Береговые водоприемники, представляющие собой железобетонные колодцы, применяются на реках с крутым падением дна их русел и глубиной у берега, достаточной для забора воды водоприемником непосредственно из русла (без подводящих устройств). Этот же тип водоприемников устраивается и при заборе воды не из собственно русла, а из ковша — искусственного залива, создаваемого на берегу реки (главным образом на реках, несущих большое количество шуги, внутриводного льда или взвешенных наносов).

На реках с пологопадающим дном, где глубина, необходимая для забора воды, находится в русле в удалении от берега, устраиваются водоприемники руслового типа. В этих случаях в русле реки в необходимом по глубине месте устраиваются приемные (постоянно или периодически затопляемые лишь высокими паводками, либо незатопляемые) оголовки, от которых вода по самотечным водоводам (иногда по напорным водоводам от незатопляемых оголовков — «крибов») подается в береговые колодцы.

Водоприемники берегового типа и береговые колодцы русловых водоприемников могут сооружаться отдельно от насосной

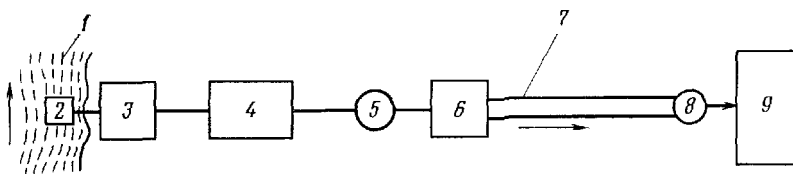


Рис 1 Схема сооружений водопровода из открытого источника

1 — источник, 2 — водоприемное устройство, 3 — насосная станция 1-го подъема, 4 — очистные сооружения, 5 — резервуары чистой воды, 6 — насосная станция 2-го подъема, 7 — магистральные водоводы, 8 — напорные резервуары, 9 — потребитель воды

станции первого подъема или совместно с ней. В зависимости от этого береговые водоприемники делятся на отдельные и совмещенные. Это же деление может быть отнесено и к характеру взаимного размещения берегового колодца и насосной станции первого подъема при русловом водоприемнике.

Совмещенные водоприемники берегового типа (как и совмещенные береговые колодцы и насосные станции первого подъема при русловом водоприемнике), как правило, экономичнее разделя-

ных и поэтому чаще применяются в практике водоснабжения из открытых источников.

Совмещенные водоприемные устройства (береговой колодец) и насосная станция первого подъема конструктивно представляют собой единое сооружение в виде цилиндрической или четырехугольной формы колодца из сборного железобетона, низ которого располагают ниже дна реки, а верх выше максимального (обычно 1—0,1 %-ной обеспеченности) уровня воды в ней. Диаметр такого колодца в зависимости от производительности водозабора — до 30 м, а его общая высота в зависимости от амплитуды колебания уровня воды в реке, характера деформации русла и прочности грунтов основания — до 50 м.

Подводная часть колодца сооружается опускным способом, иногда в открытом котловане, в отдельных случаях под прикрытием кессона. Колодец делится внутри стеной на две части: обращенная к источнику и оборудованная на разной высоте зарешеченными окнами служит для приема воды из источника (водоприемный колодец), обращенная в сторону берега — для установки насосов (собственно насосная станция первого подъема).

Надводная часть сооружается (независимо от формы подводной части) обычно четырехугольной формы в виде павильона различного архитектурного оформления.

Здание реагентного хозяйства строится кирпичным или из сборного железобетона, одно- или двухэтажным, прямоугольным в плане, размером до  $24 \times 60$  м, с обычным заглублением фундамента на 1,5—2 м. В нем размещаются смеситель, баки для растворения реагента, резервуары для хранения раствора реагента, расходные баки реагента, установка, дозирующая подачу реагента в водовод перед смесителем. Здесь же или в пристройке могут находиться емкости для известкового молока при низком рН воды; известковое молоко, как и реагент, подается в воду перед ее смешением. В здании реагентного хозяйства помещаются также лаборатория и «бытовки».

**Смесители** — железобетонные лотки с рядом дырчатых перегородок, стесняющих поток и переводящих его движение из ламинарного состояния в турбулентное, что обеспечивает необходимое смешение воды с реагентами.

**Камеры реакции**, где происходит образование хлопьев в воде, по конструкции бывают горизонтальными и вертикальными и обычно совмещаются с отстойниками. На крупных водозаборах применяют так называемые перегородчатые камеры реакции, представляющие собой прямоугольные в плане железобетонные резервуары, разгороженные внутри на ряд продольных и последовательно соединяющихся отделений (коридоров). Медленным движением воды по коридорам и частыми поворотами ее потока создаются условия для образования хлопьев.

**Отстойники**, куда вода поступает из камеры хлопьеобразования и где происходит осаждение хлопьев, бывают гори-

зонтальными, радиальными и вертикальными. Горизонтальные отстойники — прямоугольные, удлиненные в плане железобетонные резервуары шириной 6—9 м и длиной от 18 до 60 м и более в зависимости от расчетной длины пути осаждения хлопьев. Радиальные отстойники — круглой формы в плане сооружения; днища их делают из монолитного железобетона, стены — из сборных железобетонных элементов. Диаметр отстойников 18—54 м, высота обычно 3,5 м. Осветление воды в них происходит при ее движении радиально от центра к периферии. Вертикальные отстойники — железобетонные сооружения круглой или квадратной формы в плане с коническим или пирамидальным днищем. Диаметр круглых отстойников до 12 м, высота до 8 м.

**Здания фильтров** — четырехугольное в плане, обычно одноэтажное кирпичное или из сборных железобетонных элементов. Фильтры представляют собой железобетонные квадратной формы в плане емкости. В них укладывают на трубчатый дренаж и гравийную подсыпку слой песка толщиной не менее 1 м, служащий собственно фильтром. Размеры фильтров в плане обычно  $6 \times 9$  и  $6 \times 12$  м, высота до 6 м. Фильтры заглубляют до 4 м и более ниже поверхности земли и, как правило, ниже пола здания. Фундаменты под фильтрами — железобетонные плиты.

**Резервуары чистой воды** строятся цилиндрическими и прямоугольными. Цилиндрические резервуары имеют емкость до 6 тыс. м<sup>3</sup>, диаметр до 42 м; прямоугольные — емкость до 40 тыс. м<sup>3</sup>, размеры до  $96 \times 96$  м. Высота резервуаров 4,8 м, днища их из монолитного железобетона, заглубляются они на 2—3 м ниже поверхности земли; стены и перекрытия резервуаров из сборного железобетона.

**Здания насосной станции** второго подъема одно-, двухэтажное, иногда трехэтажное, прямоугольное в плане, размером до  $18 \times 60$  м возводится из сборного железобетона (мелкие здания из кирпича).

**Водоводы** сооружают из стальных или железобетонных труб диаметром до 1400 мм.

При большой производительности водозаборов (выше 15—20 м<sup>3</sup>/с) и возможной по условиям рельефа подаче воды к погребителю самотеком на всем пути от источника до потребителя или на локальных его участках сооружаются открытые (при производственном водоснабжении) или закрытые (при питьевом водоснабжении) каналы. Открытые каналы облицовываются монолитным или сборным железобетоном, закрытые строятся из такого же бетона.

Перечисленные сооружения технологически представляют собой единую систему и связаны с сетью подземных и наземных коммуникаций трубопроводами с колодцами на них, кабелями энергоснабжения и связи, отводами промывных и сточных вод, дорогами и др. Такая единая инженерная система должна работать с высокой степенью надежности бесперебойной подачи воды потребителю.



Это предъявляет к инженерным изысканиям, проектированию и строительству систем водоснабжения высокие требования как в отношении надежности источника водоснабжения и технологии подготовки воды, так и в части конструкции сооружений, их устойчивости в данной геологической и гидрогеологической обстановке.

## 2. СХЕМЫ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ МЕСТ РАСПОЛОЖЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ

Головные сооружения системы водоснабжения, располагаемые у поверхностных источников — рек, каналов, озер, водохранилищ, морей, — оказываются в различных природных условиях. Эти условия, обусловленные различным сочетанием геологических (стратиграфических, литологических, тектонических), гидрогеологических и геоморфологических особенностей отдельных участков суши, исключительно многообразны. Однако по основным геолого-литологическим и геоморфологическим признакам, определяющим состав и объем инженерно-геологических исследований, природные условия мест размещения головных сооружений водопровода из открытых источников могут быть охарактеризованы рядом схем (рис. 2, 3).

На рис. 2, а показаны морфологические и геолого-литологические условия размещения сооружений в долинах крупных равнинных рек на участках, сложенных спокойно залегающими коренными осадочными породами и толщей современных и древнечетвертичных аллювиальных образований, приуроченных к ряду аккумулятивных террас.

В таких условиях наряду с размещением собственно водозабора в пределах долины могут быть расположены сооружения по очистке и подготовке воды.

На рис. 2, б показаны морфологические и геолого-литологические условия, с которыми можно встретиться при размещении головных водопроводных сооружений в долине равнинной реки на участке, где относительно недавно подмывался ее коренной склон, или в долине горной реки на ее предгорном участке, где уклоны и скорости руслового потока снижаются до значений, при которых наряду с эрозией и переносом донных и взвешенных наносов происходит их осаждение. В долинах рек на таких участках имеются лишь узкие пойменные террасы, в пределах которых могут быть расположены только головные сооружения, а все другие — вне долины, на ее коренном склоне и водоразделе.

Примерно такие же природные условия, но в отличие от предыдущих с иным характером грунтов основания головных сооружений встречаются на равнинных реках у подмываемого коренного склона долины или в горной долине на ее высокогорном или горном участках (рис. 2, в, г).

На рис. 2, д изображена геолого-геоморфологическая схема природных условий, нередко встречающихся в долинах рек, когда

ее крутые высокие склоны на отдельных участках сложены мощной толщей покровных отложений с признаками современных или со следами древних оползней (или с тем и другим одновременно).

Подобного рода склоны обычно неустойчивы и размещать на них водозаборные сооружения не рекомендуется. Однако по гидро-

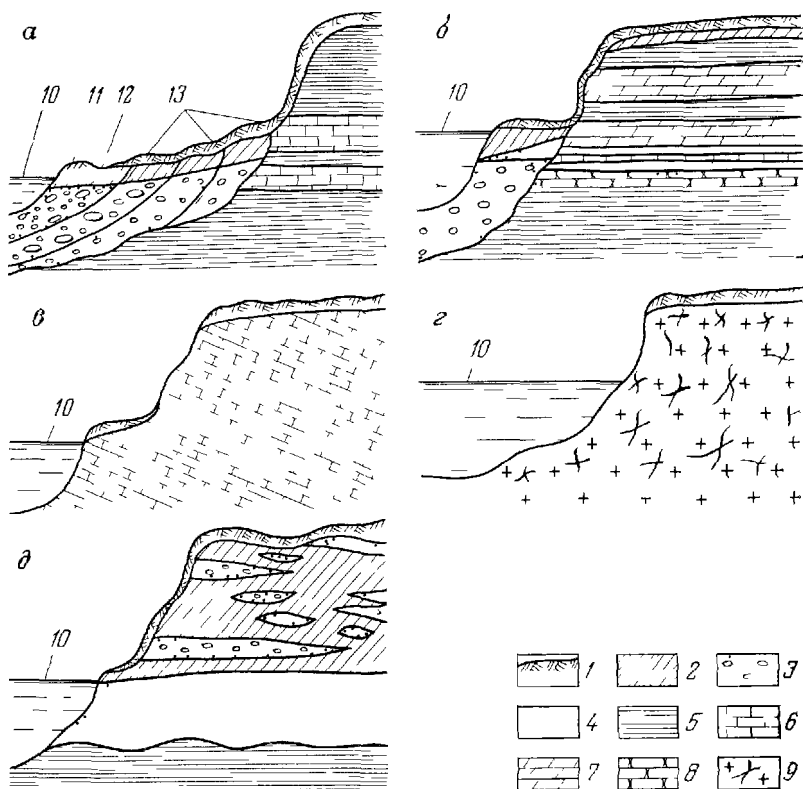


Рис 2 Схемы морфологического и геолого литологического строения участков размещения открытых водозаборов в долинах рек

1 — почва 2 — супеси суглинки 3 — аллювийно-течиновые отложения 4 — пески, 5 — глины коренные 6 — известняки 7 — мергели 8 — песчаники, 9 — глиниты, 10 — уровень воды в реке 11 — поймы высокие поймы 12 — старица, 13 — надпойменные террасы

логическим условиям реки (глубине, направлению и скорости течений, деформации русла, отложению наносов и др.) такие участки для забора воды оказываются наиболее подходящими, а иногда и единственно возможными в данном районе, и тогда на подобных склонах или у их подножия приходится размещать водозабор (например, ряд водозаборов на Волге в районе городов Тутаева, Саратова и др.) При освоении таких склонов под строительство требуется особое внимание при изысканиях и проектировании.

Еще более сложными в этом смысле оказываются склоны долин, где наряду с покровными оползают или при строительстве и эксплуатации водозаборов могут быть подвержены этому процессу коренные породы (участки водозаборов на Волге у городов Сызрани, Заволжска и др.). Освоение таких склонов под строительство должно начинаться с противооползневых мероприятий, что должно найти отражение в первую очередь в материалах изысканий.

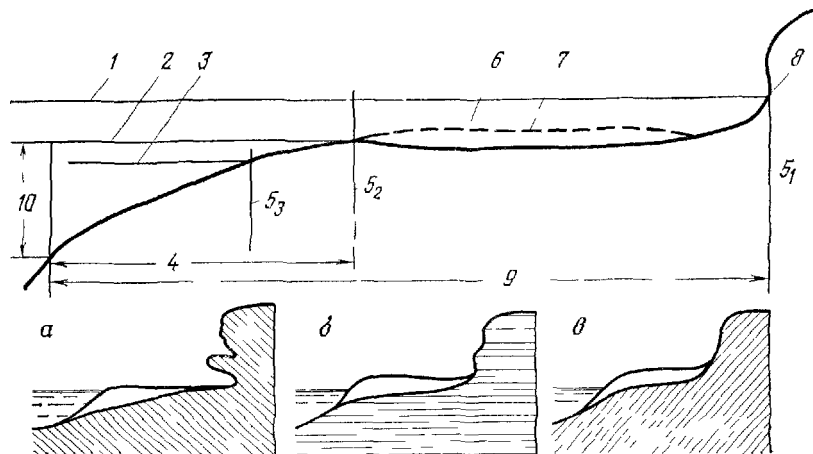


Рис. 3. Схема морфологии абразионного морского берега и характер залегания коренных пород

1, 2, 3 — уровни моря соответственно максимальный (нагонный, приливный), средний и минимальный (сгонный, отливающий), 4 — подводный береговой склон при среднем уровне моря; 5<sub>1</sub>, 5<sub>2</sub>, 5<sub>3</sub> — береговые линии, 6, 7 — пляжи с вогнутой и выпуклой поверхностями, 8 — клиф, 9 — береговая зона, 10 — предельная глубина влияния волны на морское дно а, б, в — залегание коренных пород соответственно с падением от моря к матерiku, то горизонтальное, с падением от материка к морю

При выборе места расположения водозаборных сооружений на канале исходят из необходимых для забора расходов воды и глубины в канале с учетом условий движения по каналу наносов, шуги и льда, устойчивости русла канала, топографии местности и геологического ее строения. Последнее по отмеченному выше принципу (влияния на состав и объем инженерно-геологических и гидрогеологических исследований) может быть сведено к трем схемам: 1) представленной толщей рыхлых и связных пород мощностью, превышающей глубину заложения фундаментов сооружений; 2) представленной на глубине возможного заложения фундаментов сооружений скальными или полускальными коренными породами и 3) представленной скальными или полускальными породами, залегающими непосредственно с поверхности земли.

С большим разнообразием инженерно-геологических условий можно встретиться при изысканиях для проектов морских водозаборов, поскольку здесь приходится вести исследования на участке

протяженностью от береговых линий, соответствующих максимальным (приливным, нагонным) уровням моря, до участков моря, где глубина исключает влияние волн на морское дно, т. е. в пределах всей береговой зоны (см. рис. 3), а также в глубине материка. Поэтому здесь могут встретиться как покровные континентальные отложения различного состава, генезиса и коренные породы — на материке, так и коренные породы, терригенные, биогенные и хемогенные образования — в береговой зоне.

Так, при изысканиях для проектирования крупных водозаборов на Каспии для водоснабжения предприятий Сумгаита и Красноводска исследовались современные пески и глины в акватории на участках подводящих каналов, детритовые пески на пляжевых террасах, дюнные пески, ракушечники и коренные породы на участках, примыкающих к пляжу. На участке, выбранном для водозабора в г. Ассаби (Эфиопия, западное побережье Красного моря), основными предметами инженерно-геологических исследований были кораллы и комплекс изверженных пород.

Из изложенного выше очевидно, что сооружения водопровода на пути от источника воды до ее потребителя приходится на разнообразные геоморфологические элементы местности, будучи расположенными в русле реки, канале, прибрежной части озера, водохранилища, моря, на речных и морских террасах, коренных склонах речных долин и морских побережий и на водоразделах.

Поэтому при инженерно-геологических изысканиях для строительства сооружений водопровода встречаются весьма разнообразные комплексы генетических типов пород — от современных морских илов, старичных речных отложений, аллювиальных песков, галечников и глин, делювиальных, эоловых и флювиогляциальных отложений, элювиальных образований до коренных пород континентального и морского происхождения.

Все эти породы (грунты) при инженерно-геологических изысканиях для проектирования систем водоснабжения подлежат исследованию различными полевыми и лабораторными методами и оценке как грунты основания в зависимости от их состава, состояния и от характера проектируемого сооружения.

### **3. СОСТАВ, ОБЪЕМ И МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

При проектировании и строительстве сооружений водопровода основными задачами, связанными с инженерно-геологическими условиями, являются: выбор места под водозабор и очистные сооружения; определение конструкций сооружений и их фундаментов; расчет прочности оснований сооружений; обоснование способа строительства подводных и подземных частей сооружений, выбор (при необходимости) и расчет дно- и берегоукрепительных устройств, противооползневых и дренажных сооружений; прогноз Уровневого режима грунтовых вод на участке водопроводных

сооружений на период их строительства и эксплуатации; защита подводных и подземных металлических и железобетонных конструкций от коррозии.

Выбор места для размещения водозаборных сооружений проводится по имеющимся топографическим, гидрологическим, геологическим материалам и данным рекогносцировочных обследований участка водотока, водоема в районе расположения водопотребителя. Выбор места водозабора производится на стадии ТЭО, в схеме водоснабжения данного района или, если они не составлялись, в специальной предпроектной проработке (перед техническим проектом). При этом рассматривается камерально и исследуется в натуре путем проведения облегченных изысканий ряд мест возможного расположения водозабора и выбирается из них лучшее по технико-экономическим показателям строительства и эксплуатации сооружений.

На выбранном месте проводятся детальные изыскания, при этом для решения перечисленных выше задач в общем случае изучаются геологические и гидрогеологические условия района и участка водопровода и выявляются на площадях размещения сооружений состав грунтов, их генезис, характер напластований, мощность отдельных слоев, гранулометрический состав грунтов, их обводненность, физическое состояние, физико-механические свойства и прочность, фильтрационные свойства, количество и состав водорастворимых солей и гумуса, коррозионные свойства грунтов и агрессивность грунтовых и поверхностных вод по отношению к бетону и металлу. Инженерно-геологические условия участка в целом и отдельных площадок размещения сооружений и трасс водоводов изучаются методами инженерно-геологической съемки, бурения скважин, проходки шурфов и расчисток, полевого и лабораторного опробования грунтов и грунтовых вод, геофизических измерений, наблюдений за режимом подземных вод и связанных с ними поверхностных вод водотоков и водоемов.

### **Инженерно-геологическая съемка**

Инженерно-геологическая съемка проводится общепринятыми методами и выполняется в комплексе с разведочными буровыми, шурфовочными и опытными работами на площадках размещения проектируемых сооружений. При инженерно-геологической съемке и составлении инженерно-геологических карт используются имеющиеся по данному району (участку) сведения по геологии, гидрогеологии, инженерной геологии, геоморфологии, геофизике, а также материалы по проектированию, строительству и эксплуатации сооружений, расположенных на участке или вблизи него в аналогичных условиях. Инженерно-геологическая съемка должна опираться на данные полевых комплексных визуальных наблюдений съемщика и на результаты разведочных, опытных и лабораторных работ, выполняемых на участке по общей про-

грамме изысканий. Обоснованием инженерно-геологической съемки служат выработки, закладываемые на площадках сооружений, а площади съемки, прилегающие к площадкам сооружений, освещаются, если необходимо при плохой обнаженности местности, специальными разведочными выработками.

В площадь инженерно-геологической съемки включаются береговая полоса водотока (водоема) и часть их акваторий (не менее чем на 100—150 м за границы участка размещения проектируемых сооружений). На малых (нешироких) реках съемка должна охватывать и противоположный берег.

Поскольку размеры площадок размещения сооружений водопровода обычно небольшие — от нескольких гектаров до нескольких десятков гектаров, инженерно-геологические карты участков и площадок этих сооружений целесообразно составлять в масштабах топографической съемки, выполняемой для проектирования, обычно 1 : 2000, 1 : 1000 и в отдельных случаях для мелких участков — 1 : 500.

На инженерно-геологических картах должны быть отражены покровные отложения и подстилающие их коренные породы с указанием их возраста, генезиса, условий залегания, состава, состояния и мощности.

Градации по мощности отложений принимаются в зависимости от ее варьирования на площади с учетом предполагаемого заглубления проектируемых сооружений. Инженерно-геологические условия на картах и разрезах к ним должны быть отражены до глубины ниже так называемых активных зон — границ затухания напряжений в грунтах от веса проектируемых сооружений.

В сложных природных условиях с наличием большого числа разнообразных инженерно-геологических факторов, совмещение которых на одной карте бывает затруднено, составляются наряду с общей инженерно-геологической картой карты инженерно-геологического районирования (микрорайонирования) и вспомогательные карты, отражающие отдельные морфологические, геологические, физико-геологические и другие особенности изучаемой территории (рис. 4). Они составляются и в тех случаях, когда отдельные инженерно-геологические особенности широко представлены на данной площади и являются определяющими в отношении выбора в ее пределах мест размещения проектируемых сооружений и разработки специальных мероприятий по предотвращению вредного влияния этих особенностей на строительство и эксплуатацию сооружений (активный карст, глубокие оползни, резко выраженная неоднородность физического состояния и прочности грунтов в плане и по разрезу и др.).

К карте инженерно-геологического районирования составляется пояснительная записка с краткой характеристикой инженерно-геологических особенностей каждого участка. Например, участок I (см. рис. 4) — пойма реки с сухими, местами залитыми водой старицами, сложена (сверху вниз): слоями почвы (мощ-

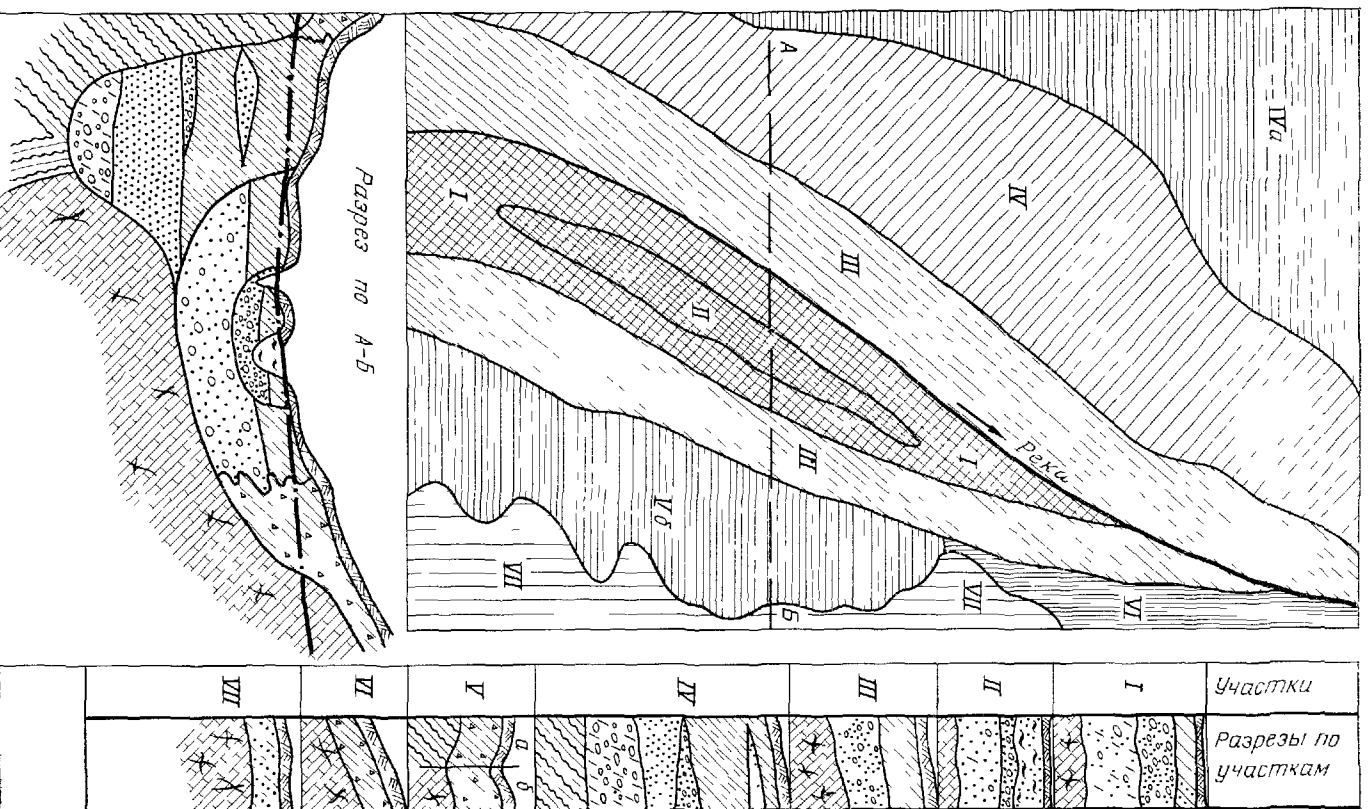


Рис. 4. Карта инженерно-геологического районирования (микрайонирования)

ностью до 0,3 м), суглинков легких (3—5 м), галечников (8—10 м), разнородных песков, местами глинистых, с отдельной галькой (9—10 м). Коренные породы, подстилающие аллювий, — кремнистые известняки нижней перьми. С глубины 1 м от поверхности земли все породы обводнены, коэффициенты фильтрации суглинков 0,1—0,5 м/сут, галечников — до 130 м/сут, песков — 7—20 м/сут. Участок ежегодно в паводок затопливается водой слоем высотой до 1 м; для строительства пригоден при условии защиты сооружений от паводковых вод (обвалование, подсыпка, намыв грунтов) и замены в старицах жидких илов другими грунтами или устройства свайного основания. Суглинки как основание сооружений слабые, с  $R''$  не более  $10^5$  Па;  $R''$  галечников до  $5 \times 10^5$  Па, песков — до (2,5—3)  $10^5$  Па.

Участок VII — область перехода склона долины к водораздельному плато, сложена коренными кремнистыми известняками, покрытыми слоем аллювиально-делювиальных образований мощностью 2—3 м. Уровни грунтовых вод — на глубине более 20 м. В известняках до отметок ложа древнего русла реки по керну прослеживаются каверны размером до 1 см в диаметре; провалов бурового инструмента по скважинам не отмечалось. Проявления карста на поверхности участка, как и в пределах всей заснятой площади, не наблюдается. Известняки слабо выветрелые, крепкие, трещиноватые, коэффициенты фильтрации 3—7 м/сут. Участок для строительства пригоден.

Подобно приведенному описываются и другие участки с характеристикой степени пригодности их для строительства с указанием при необходимости на период строительства и эксплуатации сооружений специальных мероприятий, например на участке IV, где суглинки просадочны (I-й тип), или на участке VI, где наблюдаются оплывы делювиального покрова.

Приведенная инженерно-геологическая характеристика участков вместо пояснительной записки может быть дана непосредственно на карте по форме с графами: геоморфологическая характеристика, геологическое строение с подграфами — разрез, геологический индекс, наименование пород и мощность слоев, гидрогеологическая характеристика, развитие физико-геологических процессов и явлений, подлежащих учету при проектировании и строительстве, характеристика участков по степени их пригодности для строительства.

Инженерно-геологические съемки по трассам магистральных водоводов и площадкам на них под промежуточные сооружения (насосные станции, резервуары, дюкеры, эстакады и др.) проводятся на полосе шириной до 300—500 м (по 150—250 м в стороны от оси трассы). По характеру работ — это комплексная маршрутная инженерно-геологическая съемка, которая должна опираться на имеющиеся геологические карты, фактические материалы разведочных выработок по трассе и площадкам размещения на ней сопутствующих сооружений, документацию естественных и искусствен-



ных обнажений и, наконец, на материалы полевых маршрутных геологических наблюдений и анализа форм микрорельефа, позволяющих геологу не только более полно, но и с наименьшими затратами на выполнение физических объемов разведки отразить геолого-литологическое строение полосы суши вдоль трассы.

Такой метод инженерно-геологической съемки трасс назван автором геоморфологическим и широко применялся при изысканиях и проектировании магистральных трубопроводов (нефте- и газопроводов и водоводов) Туймазы (Башкирия) — Иркутск, Баку—Батуми, Кош—Туапсе, Гурьев—Косчагыл, Краснодар—Новороссийск, Бугуруслап—Куйбышев, а также на трассе трубопроводов в Татарии и Башкирии.

Продольный масштаб инженерно-геологических карт полос трасс должен соответствовать масштабу топографической съемки (рис. 5), поперечный может быть произвольным, но не мельче 1 : 5000. Результаты наблюдений при съемке следует привязывать (глазомерно или измерением расстояний шагами) к топографическим знакам на трассе — угловым, створным, пикетажным, если разбивка пикетажа производится в натуре, и др. Карты для удобства пользования при проектировании рекомендуется составлять на листах топографической съемки полосы трассы или ситуационных тополанов, когда они составляются без съемки полосы.

При инженерно-геологической съемке трасс трубопроводов число искусственных и естественных точек наблюдений на разных участках может быть различным в зависимости от геолого-литологического строения и гидрогеологических условий местности проложения трассы. Поэтому инженерно-геологические карты, составляемые по результатам таких съемок, некондиционны. Однако они должны отражать геоморфологические, геологические и гидрогеологические условия, древние и современные физико-геологические явления и процессы с полнотой, достаточной (в совокупности с материалами полевых и лабораторных опробований грунтов) для корректировки положения трассы в плане на ранее выбранном общем ее направлении и решения при проектировании задач, связанных с определением способа рытья траншей и котлованов, выбором землеройных машин, установлением типа и конструкции искусственных сооружений на переходах через реки, овраги и участки с неблагоприятными морфологическими и геологическими условиями, установкой опор ЛЭП и связи, проложением автодорог, подсчетом стоимости строительных земляных работ.

На тоннельных участках трасс водоводов (и любых других трубопроводов) инженерно-геологическая съемка выполняется строго кондиционной. Более того, при наличии сложных тектонических нарушений для их выявления число горных выработок на отдельных участках площади съемки может быть больше, чем требуется по кондиции для данного масштаба карты при нормальных геологических условиях.



Рис. 5. Трасса нефтепровода  
Баку—Батуми по участку бере-  
гоза через дельтовидный пере-  
вал

а — план трассы б — разрез по толщине в — разрез по высоте

1 — 10 — ступени скрепы 11 — 12 — 13 — 14 — 15 — 16 — 17 — 18 — 19 — 20 — 21 — 22 — 23 — 24 — 25 — 26 — 27 — 28 — 29 — 30 — 31 — 32 — 33 — 34 — 35 — 36 — 37 — 38 — 39 — 40 — 41 — 42 — 43 — 44 — 45 — 46 — 47 — 48 — 49 — 50 — 51 — 52 — 53 — 54 — 55 — 56 — 57 — 58 — 59 — 60 — 61 — 62 — 63 — 64 — 65 — 66 — 67 — 68 — 69 — 70 — 71 — 72 — 73 — 74 — 75 — 76 — 77 — 78 — 79 — 80 — 81 — 82 — 83 — 84 — 85 — 86 — 87 — 88 — 89 — 90 — 91 — 92 — 93 — 94 — 95 — 96 — 97 — 98 — 99 — 100

Ширина полосы съемки не менее 300—500 м, масштабы 1:5000—1:2000 в зависимости от сложности инженерно-геологических условий тоннельного участка, его протяженности и др.

## **Буровые и горнопроходческие разведочные работы**

Бурение скважин на участках размещения водопроводных сооружений приходится вести в различных морфологических условиях: в акваториях водотоков и водоемов — в их руслах и на затопленных водой участках, на суше — поймах, террасах, береговых склонах и водоразделах, а также в различных породах — в рыхлых мелко- и крупнообломочных, связных полускальных и скальных. Глубина вскрытия пород для их изучения зависит от величины заглубления фундаментов сооружений, а также от литологии, характера напластований и физического состояния пород.

### **Разведочные работы на участке водозаборных сооружений**

Из сооружений водопровода наиболее тяжелыми являются головные сооружения — насосная станция первого подъема с водоприемными устройствами. В рыхлых и связных породах средней плотности — песках, супесях, суглинках, четвертичных глинах (см. рис. 2, а, б) — сооружения опускают ниже дна водотока, водоема на 8—10—15 м. В соответствии с этим глубина разведочных выработок под сооружения на таких участках составляет обычно 25—30 м.

При наличии непосредственно на площадке сооружений слабых грунтов (торфов, илов, илистых тонкозернистых рыхлого сложения песков, водонасыщенных до предела текучести суглинков и супесей) они проходятся скважинами полностью. Бурение в этом случае ведется до слоя пород, который может служить основанием сооружения; этот слой исследуется по его мощности до глубины на 3—5 м ниже активной зоны.

На участках, сложенных аллювиальными обломочными образованиями (крупными песками, гравием, галечниками), глубина разведочных выработок может быть существенно меньше, чем в отнесенных выше условиях, поскольку в таких грунтах зона распространения напряжений от веса здания насосной станции первого подъема обычно не превышает 7—10 м. Учитывая, однако, непостоянство состава аллювиальных отложений по глубине и в плане, ряд разведочных скважин и на таких участках следует доводить до коренных пород.

При глубоком (более 30—50 м) залегании коренных пород, когда эта глубина и состав покровных отложений в общем по имеющимся материалам известны (известно также, что в толще покровных отложений слабых грунтов нет), доводить скважины до коренных пород не следует. Глубину скважин в таких случаях

можно ограничивать. на площадках, сложенных сулинками, супесями, мелкими песками, — глубиной ниже дна реки, равной диаметру сооружения (размеру длинной стороны фундамента — плиты при четырехугольной форме сооружения); на площадках, сложенных мощной толщей крупных песков или гравийно-галечниковых отложений, — глубиной ниже дна реки, равной половине диаметра сооружения (половине длинной стороны фундамента).

Если основанием сооружения являются коренные скальные или полускальные породы (см. рис. 2, в, г), заглубление его днища ниже уровня воды в водоеме, водотоке определяется лишь конструкцией сооружения и условиями поступления воды в водоприемную камеру колодца при расчетном наиниžшем уровне воды в водотоке, водоеме. В этих случаях скважинами вскрываются полностью слой элювия (нацело или частично выветрившиеся коренные породы) и на 2—3 м собственно коренные породы ниже отметок заложения днища сооружения.

Разведочные скважины на участке водозабора располагаются обычно по трем створам — осевому по отношению к сооружению и двум, параллельным осевому, расположенным по обе стороны от него в 50—75 м. Шаг между скважинами на поперечниках 25—100 м. Скважины бурятся ударным способом с начальным диаметром 168—219 мм.

Скважины для опытных откачек с целью определения коэффициентов фильтрации пород, расчета водопонижения или притока воды в котлован при строительстве бурятся диаметром 219—273 мм

Если в долине реки или другого водотока, водоема имеются пойменная терраса или аккумулятивные террасы иного порядка шириной более 100 м, скважины бурятся по указанным поперечникам в пределах контура проектируемого сооружения и за его пределами на расстоянии до 100 м в сторону берега и до 50—80 м в глубь акватории (рис. 6).

Когда в долине реки или у другого водотока, водоема отсутствуют пойма или аккумулятивные террасы иного порядка или если ширина этих террас менее 100 м и они непосредственно сопрягаются с крутым склоном долины, поперечники разведочных скважин удлиняют на коренной склон до выхода на 100—150 м за его верхнюю бровку. Бурение скважин на склоне ведется до отметок, не превышающих отметки подошвы аллювия на пойме (бичевнике), а отдельные скважины (по две-три на каждом поперечнике) — до отметок ниже заложения днища сооружения. В соответствии с этим ряд скважин здесь может иметь значительную глубину — до 50—100 м.

По коренным породам, в том числе и по элювию, если он представлен продуктами нацело выветрившихся коренных пород или крупными обломками коренных пород, связанными продуктами глубокого физического и химического выветривания, а не мелким

щебнем или дрсвой, скважины бурятся колонковым способом диаметром не менее 112—132 мм для возможности отбора проб грунтов ненарушенной структуры (монолитов) на лабораторные

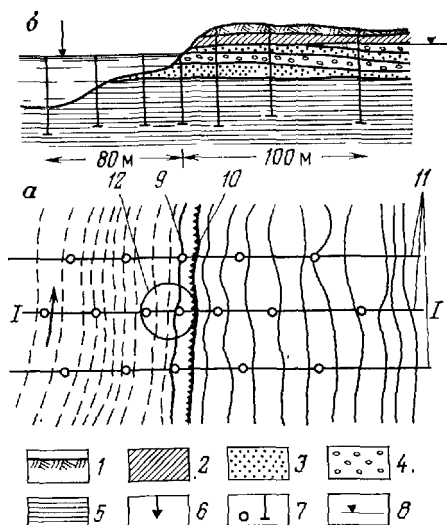
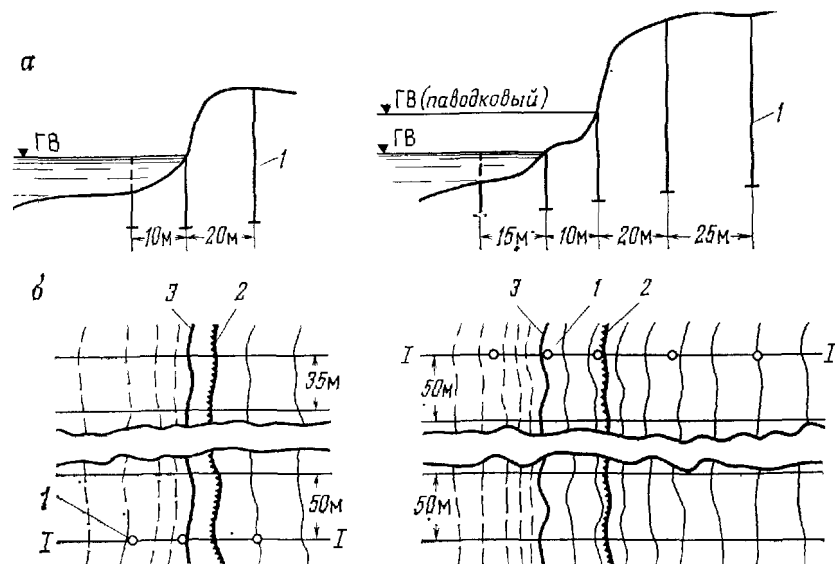


Рис. 6. Схема расположения разведочных скважин на участке проектируемого водозабора.

а — план; б — разрез по I—I.  
1 — почва; 2 — суглинки, 3 — пески; 4 — галечники; 5 — коренные породы (глины); 6 — горизонт воды в реке; 7 — скважины; 8 — уровень грунтовых вод; 9 — линия уреза воды в реке; 10 — уступ к бичевнику; 11 — линии расположения скважин; 12 — контур здания проектируемого водозабора; I—I — ось водозабора

Рис. 7. Расположение разведочных скважин на участке укрепления берега реки.

а — разрезы; б — планы.  
1 — разведочные скважины; 2 — обрыв берега; 3 — линия уреза воды в реке; I—I — линии разрезов



исследования. Здесь же проходятся шурфы, каналы, расчистки для выявления геолого-литологического строения склона и отбора проб (крупных монолитов) грунтов на исследование.

На участках размываемых и обрушивающихся берегов, подлежащих креплению, скважины размещают по поперечникам на

берегу, урезе воды и в акватории водотока, водоема. Глубины скважин на 3—5 м ниже дна водотока, водоема. При одинаковой литологии пород и выдержанном характере их напластования в пределах участка берега, подлежащего креплению, расстояние между поперечниками следует принимать равным 50—75 м. При разнородном геолого-литологическом строении береговой полосы поперечники для бурения на них разведочных скважин располагают с учетом этого фактора; расстояния между поперечниками в таких случаях могут быть меньше 50 м. Шаг между скважинами на поперечниках 10—25 м, число их на каждом поперечнике зависит от высоты и морфологии берега, подлежащего креплению, и может быть от трех до пяти (рис. 7). Диаметр скважин, исходя из условий отбора проб грунтов ненарушенной структуры для лабораторных исследований, должен быть не менее 127 мм. На береговых обрывах или крутых уступах террас на тех же поперечниках, где располагают скважины, или между ними в характерных по геолого-литологическим особенностям местах делают расчистки, из которых при необходимости также отбирают пробы (монолиты) грунтов на исследование.

### **Разведочные работы на участке сооружений по очистке и подготовке воды**

При размещении очистных сооружений на участках, сложенных покровными рыхлыми и связными отложениями, разведочными работами изучается толща пород от поверхности земли до глубины на 2—3 м ниже так называемой активной зоны — области полного затухания дополнительного напряжения в грунтах от сооружений.

Поскольку фундаменты большей части сооружений по очистке и подготовке воды закладывают при нормальных грунтах на глубине не более 3—4 м от поверхности земли, а мощность активных зон под ними в покровных рыхлых и связных отложениях средней плотности в общем не превышает 5—6 м, то глубина разведочных скважин здесь обычно не более 10 м.

На площадках, расположенных в пределах одного геоморфологического элемента (пойма, терраса, водораздельное плато), скважины располагают по сетке. Расстояние между ними определяется в зависимости от сложности инженерно-геологического строения площадки. При простом строении (выдержанные по мощности и литологии в плане и по разрезу однородные слои пород одинакового или закономерно изменяющегося по глубине физического состояния) это расстояние может быть не менее 50—100 м. При сложном строении (невыдержанные по мощности и литологии в плане и по разрезу слои пород различного физического состояния) расстояние между скважинами по сетке не более 50 м.

При расположении площадки на нескольких геоморфологических элементах скважины размещают с учетом этого фактора,

чтобы в равной степени выявить инженерно-геологические особенности каждого геоморфологического элемента. При этом сеточный принцип размещения скважин можно не выдерживать или полностью не применять, поскольку скважины в таких случаях целесообразно располагать по поперечникам вкрест простирания геоморфологических элементов с неодинаковым шагом между скважинами: большим — на простых участках, меньшим — на сложных. В местах сочленения различных геоморфологических элементов шаг между разведочными скважинами может быть уменьшен до 25 м.

Наряду со скважинами на площадках размещения сооружений по очистке и подготовке воды проходят шурфы до глубины на 2—3 м ниже заложения фундаментов сооружений. Шурфы используют для детальной документации разреза и отбора монолитов пород на лабораторные исследования.

Слои или линзы слабых грунтов, встречающиеся в пределах площадки, проходят выработками полностью до подстилающих их нормальных грунтов. Выявляется также площадь распространения слабых грунтов в плане. Прочность этих грунтов и степень их пригодности как основания сооружений определяются методами зондирования, вращательного среза, штамповых испытаний; если возможно, из них отбирают пробы ненарушенной структуры для лабораторных исследований.

При близком к дневной поверхности залегании коренных скальных и полускальных невыветрелых пород глубина разведочных выработок ограничивается вскрытием этих пород на 0,5—1 м ниже отметок заложения фундаментов сооружений.

### **Разведочные работы на трассах водоводов**

Разведочные работы на трассах магистральных водоводов включают также бурение скважин, проходку шурфов и расчисток. Последние закладывают обычно на крутых склонах и береговых обрывах долин рек и оврагов, пересекаемых трассой.

Скважины и шурфы размещают по трассе с учетом геоморфологических и геологических особенностей местности. В пределах одного геоморфологического элемента с простым, однородным геолого-литологическим строением (например, терраса, сложенная с поверхности песчано-галечниковыми отложениями, или водораздельное плато, сложенное толщей покровных суглинков) шаг между разведочными выработками может быть одинаковым — 250—300 м.

При частой смене отложений в плане шаг между разведочными выработками должен быть уменьшен до значений, позволяющих выявить особенности геолого-литологического строения местности по трассе.

В таких случаях большое значение имеет инженерно-геологическая съемка, позволяющая, с одной стороны, целенаправленно

намечать места заложения разведочных выработок и, с другой, — сокращать их число в зависимости от геоморфологических особенностей мест прохождения трассы и на основе документации естественных и искусственных обнажений, встречающихся по трассе и вблизи нее.

Особо важную роль приобретает инженерно-геологическая съемка в условиях, когда непосредственно под почвенным покровом или под маломощным слоем покровных отложений залегают

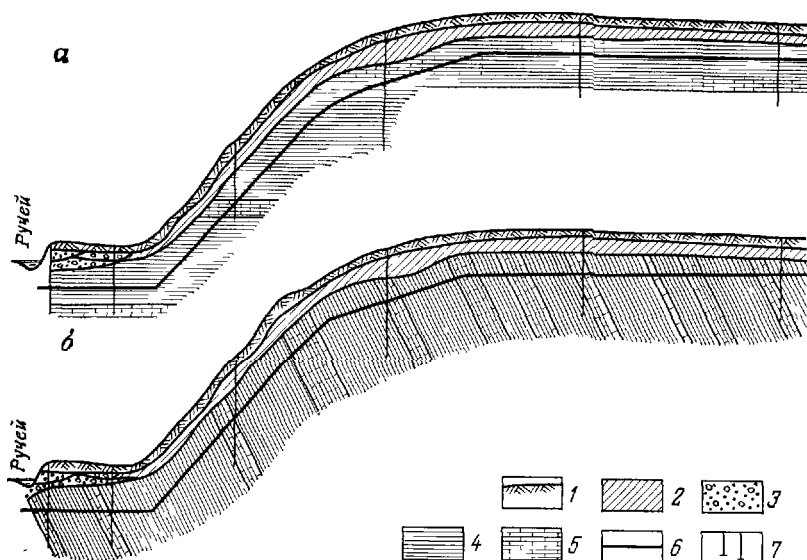


Рис. 8. Геолого-литологические разрезы по трассе водовода:

а — по данным бурения; б — по данным бурения и рекогносцировочной геолого-литологической съемки  
1 — почва; 2 — суглинки; 3 — пески с гравием; 4 — глины коренные; 5 — известняки; 6 — линия заложения водовода; 7 — разведочные скважины

коренные породы различного литологического состава и в той или иной мере дислоцированные. Здесь при формальном размещении разведочных выработок по трассе с одинаковым шагом (250—300 м) без инженерно-геологической съемки можно получить совершенно неправдоподобную картину геолого-литологического строения местности трассы (рис. 8).

На трассах напорных водоводов в связных и рыхлых отложениях (плотных и средней плотности) разведочные выработки проходят до глубины на 2—3 м ниже отметок заложения низа труб. В коренных нескальных породах выработки можно проходить до глубины не более 0,5—1 м ниже отметок заложения низа труб, в скальных — можно ограничиться вскрытием их поверхности.

На трассах самотечных водоводов глубину разведочных выработок определяют по тому же принципу, что и при разведке трасс



напорных водоводов. Однако поскольку заложение труб здесь осуществляется с некоторым непрерывным уклоном в направлении подачи воды, глубина выработок на относительно повышенных в рельефе участках может быть значительной и определяться величиной заглубления трубопровода по заданному уклону, независимо от относительного превышения поверхности рельефа того или иного участка.

На участках переходов через реки, ручьи и овраги водоводы прокладываются обычно в две нитки; расстояние между ними из условий производства ремонтных работ принимается не менее 10 м. В связи с этим на переходах разведка ведется по двум-трем поперечникам, располагаемым перпендикулярно к продольному профилю реки, оврага. Расстояние между поперечниками 15—20 м. Выработки на поперечниках закладываются на верхних бровках склонов долины реки, оврага, на их склонах, в пределах днища долины, на берегах у русла реки (в тальвеге оврага) и в русле реки при его ширине более 5 м. Глубина выработок на переходах в нормальных грунтах такая же, как и на трассе при подходе к переходу, в русле реки — не менее 5 м ниже дна русла.

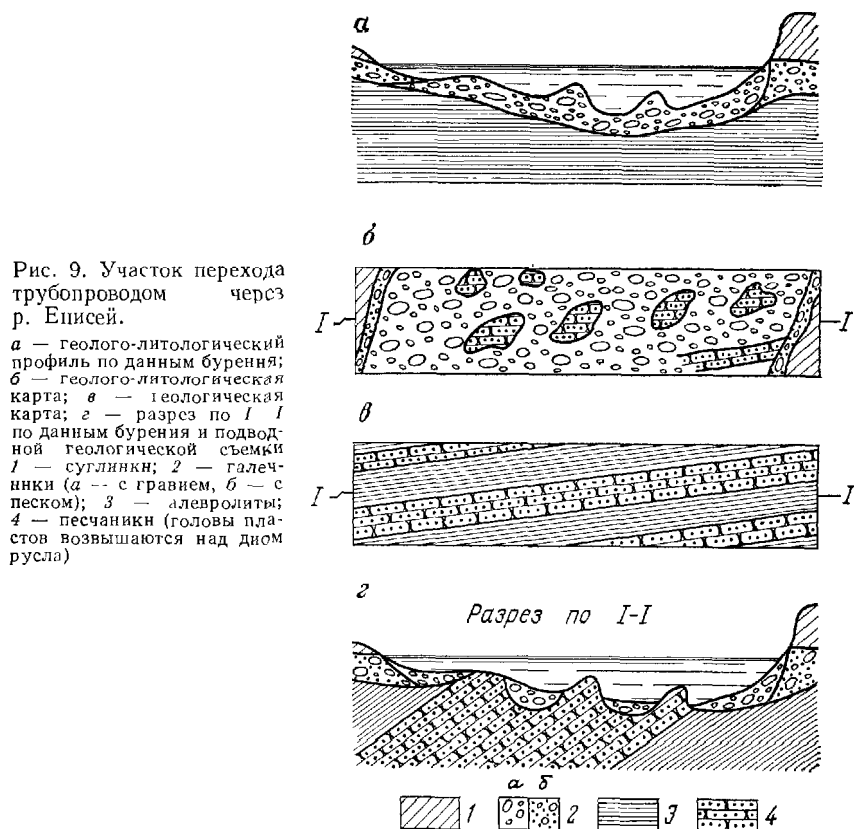
Слабые грунты (илы, торфа, разжиженные связные грунты) на переходе проходят выработками полностью до подстилающих их плотных минеральных грунтов.

На переходах через крупные реки (ширина русла в межень 100 м и более) в районах с близким к поверхности земли залеганием коренных пород разведка на предварительно выбранном (по геологическим материалам — геологическим картам, разрезам скважин, по лоцманским картам и натурным рекогносцировочным исследованиям) направлении должна быть выполнена не менее чем по трем поперечникам с расстоянием между скважинами 25—50 м. На таких участках переходов при различном составе и крепости горизонтально залегающих или дислоцированных коренных пород в русле реки под маломощным слоем аллювия или непосредственно на поверхности дна могут выступать отдельные глыбы («скалы») в коренном залегании, вытянутые в цепочку по простиранию пород, или сплошные различной высоты гряды или гряды скальных пород. Здесь при значительной ширине русла реки в особо сложных условиях приходится проводить подводную геологическую съемку. С этой целью обследуются коренные склоны долины (иногда в радиусе до 5—10 км от места перехода), выявляются общая геологическая структура долины, литология слагающих ее пород и по этим данным строится гипотетическая схема геологического строения русловой части долины реки в месте перехода через нее того или иного линейного сооружения. Построенная таким образом гипотетическая схема проверяется и корректируется бурением и осмотром дна реки водолазами.

Перед началом работ по выявлению геологического строения дна реки водолазам необходимо дать пояснения об общих условиях залегания пород и методах наблюдений. При обследовании

дна реки водолазы работают в контакте с геологом, под его руководством и по его заданию на каждое погружение. Для контроля работы водолаза можно иногда дать задание пронаблюдать залегание пород, отличное от ожидаемого.

Подводные геолого-литологические съемки выполнялись автоном на крупных реках Сибири в местах перехода через них нефте-



провода Туймазы—Иркутск и в прибрежной части акватории Каспия у о. Артем для проектирования и строительства морских эстакад.

На рис. 9 приведены геолого-литологический разрез через русло р. Енисея на участке укладки нефтепровода, построенный лишь по данным бурения скважин и промерам глубин и оказавшийся непригодным для проектирования, а также геолого-литологическая и геологическая карты и геолого-литологический разрез, составленные по материалам бурения, береговой и подводной геологической съемки и отражающие истинное геологическое строение русловой части долины реки.

## Опытно-фильтрационные работы на участках сооружений систем водоснабжения и фильтрационные расчеты

Опытно-фильтрационные работы на участках размещения сооружений водопровода проводятся с целью выявления фильтрационных свойств пород для разработки проекта организации строительства (ПОС) и мероприятий, обеспечивающих нормальную эксплуатацию сооружений в данных гидрогеологических условиях (водопонижение, дренаж, гидроизоляция, заложение откосов выемок, насыпей и др.).

На участке водозабора (насосной станции первого подъема) проводятся обычно опытные откачки. Водозабор, как отмечено выше, располагают вблизи или непосредственно у русла реки либо частично в самом русле, а также вблизи уреза воды любого другого водоема. При прямой связи поверхностных и подземных вод (русло водоема не заилено) опытные откачки целесообразно проводить из одиночных скважин, поскольку в этих условиях коэффициент фильтрации по результатам откачки из одиночной скважины может быть определен достаточно точно (в расчетную формулу вместо ориентировочно определяемого радиуса влияния откачки вводится удвоенное расстояние от опытной скважины до уреза воды в водоеме).

Если связь грунтовых вод с поверхностными затруднена (русло заилено или сложено существенно менее проницаемыми грунтами, чем грунты водоносного пласта на пойме — на участке расположения водозабора), опытные откачки необходимо проводить из куста скважин, расположенных по специальной схеме [36, 62, 118], для определения коэффициентов фильтрации водоносного пласта и русловых отложений (их фильтрационного сопротивления).

На участках расположения насосных станций после первого подъема и на трассе магистрального водовода в удалении от водоемов опытно-фильтрационные работы при необходимости (если уровень грунтовых вод — в зоне заглубления сооружений) могут быть также ограничены откачками из одиночных скважин. Степень точности определения коэффициентов фильтрации по таким откачкам хотя и невысокая, но для практических расчетов притока воды в котлованы и траншеи в период производства строительных работ достаточная.

На площадках размещения очистных сооружений, при проектировании которых наряду с определением условий производства строительных работ необходим прогноз уровня режима подземных вод при эксплуатации сооружений, опытно-фильтрационные работы должны быть полнее: кустовые опытные откачки из водоносных пластов, наливов в слабопроницаемые обводненные породы и грунты зоны аэрации. Здесь кроме коэффициента фильтрации должны быть определены коэффициенты водоотдачи, не-

достатка водонасыщения (для «сухих» пород), пьезопроводности (уровнепроводности), а также пористость, естественная влажность, максимальная молекулярная влагоемкость.

Для опытных откачек как одиночных, так и кустовых диаметр скважин следует принимать из условий установки фильтра диаметром не менее 100—168 мм в зависимости от ожидаемого дебита скважины. Фильтры опытных скважин должны быть с привязными пьезометрами. При откачках необходимо вести наблюдения за уровнем воды в водоеме и уровнями грунтовых вод по всем расположенным на площадке разведочным скважинам.

Разведочные скважины, по которым будет зафиксировано влияние откачки, следует наряду с наблюдательными в кусте использовать (особенно при откачках из одиночных скважин) для расчета коэффициентов фильтрации. Откачки должны проводиться из каждого водоносного горизонта на одно-два понижения с максимально возможным дебитом скважины в данном водоносном горизонте. Продолжительность откачки на каждое понижение не менее одной-двух смен при установившихся дебите скважины и уровне воды в ней. Замеры дебита и уровня воды при опытной откачке следует производить: в начале откачки, пока будет отрегулировано заданное понижение — через 10—30 мин, при отрегулированном понижении — через 0,5—1 ч.

Установившимся можно считать: дебит скважины, если его значения по замерам в течение одной-двух смен различаются в ту и другую сторону не более чем на 10%; и уровень — если его колебание в те же одну-две смены не превышает 1% от заданной величины понижения.

Обработка опытно-фильтрационных исследований проводится по общепринятой в практике инженерно-геологических изысканий методике (см. гл. III), а результаты используются для определения притока подземных вод в строительные котлованы, траншеи, расчета систем глубинного водопонижения, прогноза повышения уровня подземных вод при эксплуатации сооружений (см. гл. IX), учета водопроницаемости грунтов основания сооружений при оценке степени агрессивности подземных вод по отношению к бетону и подборе его состава.

Насосные станции первого подъема (водозаборы у поверхностных источников) в полусвязных и связных слабоводопроницаемых породах, а также в полускальных и скальных породах, независимо от степени их водопроницаемости, строятся обычно в открытом котловане. В этом случае для составления проекта и сметы на производство строительных работ определяется приток воды в котлован. Поскольку котлованы под насосные станции первого подъема располагают, как отмечено выше, вблизи водоемов или частично, а иногда и полностью в водоеме (в последнем случае их отгораживают от русла или акватории водоема земляными перемычками), приток воды в них приобретает через очень короткое

время после начала откачки стационарный режим и может быть определен по следующим формулам

при совершенном котловане вблизи водотока (водоема) в однородном в фильтрационном отношении напорном пласте

$$Q = \frac{2\pi km S_{\text{н}}}{\ln \frac{\rho}{R_0}}; \quad (1)$$

то же, в безнапорном пласте

$$Q = \frac{\pi k (2H_e - S_{\text{н}}) S_{\text{н}}}{\ln \frac{\rho}{R_0}}, \quad (2)$$

где  $k$  — коэффициент фильтрации водоносного пласта;  
 $m$  и  $H_e$  — мощность соответственно напорного и безнапорного водоносных пластов;

$S_{\text{н}}$  — понижение уровня (напора) в центре котлована;

$\rho$  — расстояние от центра котлована до центра его зеркального отображения относительно границы пласта, в данном случае реки;

$R_0$  — радиус котлована (при некруглой форме котлована — радиус круга, к которому приводится действительная форма котлована).

При определении притока воды в береговые котлованы необходимо учитывать фильтрационное несовершенство русла реки путем удлинения фактического расстояния от центра котлована до реки на некоторую величину  $\Delta L$ , эквивалентную величине потери напора фильтрационного потока на его входе из русла в водоносный пласт.

Если фильтрационное несовершенство русла обусловлено неполным вскрытием им водоносного пласта (что всегда имеет место), величина  $\Delta L$  может быть принята равной примерно половине мощности водоносного пласта [153]

$$\Delta L = 0,44H. \quad (3)$$

При фильтрационном несовершенстве русла, обусловленном его заиленностью,  $\Delta L$  может быть определено по формулам:

для рек небольшой ширины (при  $b \sqrt{\frac{k_1}{kmm_1}} < 1 - 1,5$ )

$$\Delta L = \sqrt{\frac{kmm_1}{k_1}} \operatorname{cth} b \sqrt{\frac{k_1}{kmm_1}}; \quad (4)$$

для широких рек (при  $b \sqrt{\frac{k_1}{kmm_1}} \geq 1 - 1,5$ )

$$\Delta L = \sqrt{\frac{kmm_1}{k_1}}, \quad (5)$$

где  $k_1$  и  $k$ ,  $m_1$  и  $m$  — коэффициенты фильтрации и мощности соответственно верхнего слабопроницаемого и нижнего хорошо про-

нищаемого слоев, определяемые исследованиями в натуре (см. гл. IV);

$b$  — половина ширины русла реки.

Если фильтрационное несовершенство русла обуславливается неполным вскрытием им водоносного пласта и заиленностью (что чаще всего и наблюдается в природных условиях), общее значение величины  $\Delta L$  будет равно сумме значений, полученных по формулам (3) и (4) или (3) и (5).

Общее (обобщенное) значение  $\Delta L$  может быть определено также по формуле (73) или по результатам опытной одиночной откачки из скважины на месте размещения котлована по формуле [36]

$$R_2 = \frac{2\pi kmS}{Q} - R_1, \quad (6)$$

где  $R_2$  — обобщенное фильтрационное сопротивление ложа реки;

$Q$  и  $S$  — расход воды и понижение уровня в скважине при откачке;

$R_1$  — гидравлическое сопротивление при откачке у реки без учета фильтрационного ее несовершенства

$$R_1 = \ln \frac{R}{r}. \quad (7)$$

Здесь  $r$  — расстояние от скважины до реки;

$R$  — то же, до зеркального отображения скважины относительно линии уреза воды в реке.

Найденное любым путем значение  $\Delta L$  (или  $R_2$ , что то же) должно быть учтено в формулах (1) и (2) при определении величины  $r$ .

При определении водопритоков в котлованы под сооружения, расположенные вне влияния реки в условиях неограниченного водоносного пласта, в формулы (1), (2) вместо  $r$  должно быть введено  $R$  — радиус влияния водоотлива, значение которого может быть определено опытной откачкой или расчетом по известным зависимостям [75] с использованием результатов опытной откачки.

Приток воды в несовершенный по вскрытию водоносного пласта котлован ориентировочно с некоторым завышением притока [141] можно определить как сумму притоков через стенки котлована и его дно (приняв в первом случае водоупор в плоскости дна котлована) или по формулам, приведенным в работе [3].

В сильнофильтрующих грунтах, крупных песках и песчано-галечниковых образованиях строительство в открытом котловане нецелесообразно, поскольку при практически возможной (по условиям устойчивости) высоте заложения откосов котлована его размер может значительно превысить необходимый для габаритов данного водозабора. В связи с этим водозабор сооружается, как

правило, способом опускного колодца или способом «стена в грунте». Эти способы применяются и в мелких песках, когда рытье открытого котлована практически невозможно, поскольку поверхностный водоотлив из котлована приводит к выносу песка и обрушению стен котлована.

Сооружение водозабора методом опускного колодца в отдельных случаях (в песчаных грунтах при размерах сооружения диаметром до 10 м) выполняют без водоотлива и водопонижения с подводным бетонированием дна насосной станции, что не всегда обеспечивает необходимое качество бетонных работ. Поэтому после посадки пиза стакана насосной станции на проектную отметку приходится прибегать к искусственному водопонижению для устройства дна насосной «насухо». В других случаях, когда при опускании стакана подводная выемка грунта из него затруднена (крупные плотно слежавшиеся галечники, наличие в сильнофильтрующих породах линз плотных связных грунтов), искусственное водопонижение на площадке строительства водозабора начинается до начала опускных работ.

При сооружении водозабора способом «стена в грунте» необходимость в водопонижении также не исключается, сокращается лишь время его проведения, поскольку в одних случаях его начинают после доведения стены до проектной отметки, в других — после выемки из-под воды грунта, ограниченного «стенной» оболочкой.

Сооружение водозабора осуществляют иногда под защитой шпунта, но и при этом в мелких песках особенно с напорными водами, когда вынос песка в котлован через шпунт неизбежен, на время устройства дна насосной станции прибегают к водопонижению.

Кессонный способ строительства водозабора, при котором нет необходимости в водоотливе и водопонижении, в последнее время не применяется.

Таким образом, при сооружении насосной станции первого подъема практически всегда приходится предусматривать необходимость водопонижения и проектировать водопонижительную установку из скважин, располагаемых по контуру осушаемого участка.

Проектирование водопонижительной установки сводится к определению числа скважин, их глубины, конструкции и дебита, общего дебита установки, понижения уровня подземных вод в пределах осушаемого контура, а также понижения в скважинах установки. Для перечисленных определений могут быть использованы формулы из работ [46, 78].

Понижение в центре водопонижительной кольцевой установки (или приведенной к кольцевой, совершенной, вблизи реки или любого другого совершенного в фильтрационном отношении водоема, при установившейся фильтрации) определяется по формуле

$$S_{\text{ц}} = H_{\text{е}} - \sqrt{H_{\text{е}}^2 - \frac{q^6 + q^{\pi}}{2\pi k} n \ln \frac{2L}{R_0}}, \quad (8)$$

где  $q^6$  и  $q^n$  — дебиты ближайшей к реке (водоему) и дальней от реки (водоема) скважин установки, определяемые по формуле

$$q^{6, n} = \frac{\pi k (2H_e - S_c) S_c}{\ln \left[ \left( \frac{2L}{R_0} \pm 1 \right)^n - 1 \right] + \ln \frac{\sigma}{\pi d}}. \quad (9)$$

Здесь  $S_c$  — понижение уровня воды в скважине;

$n$  — число скважин установки;

$\sigma$  — расстояние между скважинами;

$d$  — диаметр скважин.

В первом двучлене знаменателя формулы (9) знак «плюс» принимается при определении дебита дальней от реки скважины, знак «минус» — ближней.

При фильтрационном несовершенстве русла реки (водоема) степень несовершенства должна быть учтена рассмотренными выше способами, ее значение введено в формулы (8), (9).

Для определения величины понижения уровня подземных вод в центре осушаемого контура под котлован для сооружений, располагаемых в удалении от границ пласта при стационарной фильтрации, можно пользоваться следующими формулами [78]: в напорных пластах

$$S_u = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{R}{R_0}, \quad (10)$$

в безнапорных пластах

$$S_u = H_e - \sqrt{H_e^2 - \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{R}{R_0}}. \quad (11)$$

Дебит каждой скважины кольцевой (приведенной к кольцевой) установки можно определить по приближенным формулам: в напорных пластах

$$Q_c \approx \frac{2\pi km S_c}{n \ln \frac{R}{R_0} + \ln \frac{\sigma}{\pi d}}, \quad (12)$$

в безнапорных пластах

$$Q_c \approx \frac{\pi k (2H_e - S_c) S_c}{n \ln \frac{R}{R_0} + \ln \frac{\sigma}{\pi d}}. \quad (13)$$

В формулах (10)–(13)  $Q$  — общий дебит водопонижительной установки;  $Q_c$  и  $S_c$  — дебит и понижение по любой скважине установки. Остальные обозначения прежние.

При нестационарной фильтрации понижение уровня подземных вод в центре кольцевой совершенной водопонижительной установки можно определить по формулам [34]:

для напорных вод

$$S_u = \frac{Q}{4\pi km} R_k(\bar{r}, F_0), \quad (14)$$



для безнапорных вод

$$S_u = H_e - \sqrt{H_e^2 - \frac{Q}{\pi k} \bar{R}_k}, \quad (15)$$

а понижение уровней в скважинах кольцевой системы соответственно по формулам

в напорных пластах

$$S_c = -\frac{nQ_c}{4\pi km} \left[ R_k(\bar{r}, F_0) + \frac{2}{n} \ln \frac{\sigma}{\pi d} \right], \quad (16)$$

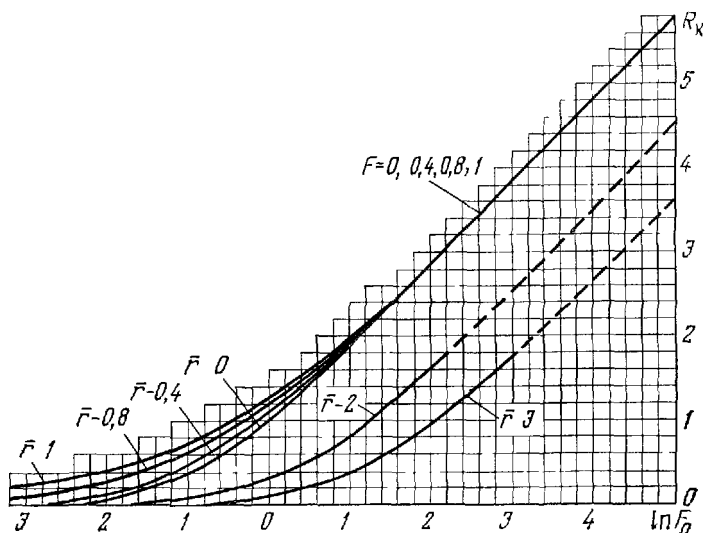


Рис 10 График  $R_k = f(\bar{r}, F_0)$  к формулам (14)–(18)

в безнапорных пластах

$$S_c = H_c - \sqrt{H_c^2 - \frac{nQ_c}{\pi k} \left[ R_k(r, F_0) + \frac{2}{n} \ln \frac{\sigma}{\pi d} \right]} \quad (17)$$

При длительных откачках, когда  $F_0 \geq 2,5$  или  $t \geq 2,5 \frac{R_0}{a}$ , можно принимать

$$R_k(\bar{r}, F_0) \approx 2 \ln \frac{R}{R_0}, \quad (18)$$

где

$$R = 1,5 \sqrt{at}. \quad (19)$$

В формулах (14)–(18)

$R_k$  — функция гидравлического сопротивления, значение которой находится по графику на рис 10 в зависимости от  $\bar{r} = \frac{r}{R_0}$  и  $F_0 = \frac{at}{R_0^2}$  ( $r$  — расстояние от центра установки до точки, в которой определяется понижение уровня,

равное для центра котлована нулю, поэтому  $\bar{r}$  также равно нулю);

$R_0$  — радиус установки;

$a$  — коэффициент пьезопроводности (уровнепроводности);

$t$  — расчетное время.

Для расчета несовершенных по вскрытию водоносного пласта кольцевых водопонижительных установок можно пользоваться при стационарной фильтрации формулами, приведенными, например, в работе [78], а при нестационарной фильтрации — в работе [118]. Порядок расчета водопонижительных установок следующий.

Форма в плане осушаемой площади (ограниченная водопонижительной установкой) приводится к кругу и при этом определяется его радиус  $R_0$ . По формуле большого колодца определяется общий приток подземных вод  $Q$  к установке при заданном (необходимом для строительства) понижении их уровня. Задаются глубина, диаметр и конструкция водопонижительных скважин, их расстояния от центра круга и определяются дебиты скважин, а также средний дебит  $q_{\text{ср}}$  одной скважины водопонижительной установки и по нему — число скважин  $n$  установки

$$n = \frac{Q}{q_{\text{ср}}}. \quad (20)$$

Шаг между скважинами определяется по ее окружности

$$\sigma = \frac{2\pi R_0}{n}. \quad (21)$$

При найденном числе скважин, их расстоянии от центра установки и расстоянии между скважинами определяется понижение уровня подземных вод в центре установки. Если при этом величина понижения оказывается меньше (или существенно больше) заданной, увеличивается (или уменьшается) подбором насосов дебит скважин или их число и расчет величины понижения уровня подземных вод в центре установки выполняется вновь. При получении положительного результата рассчитываются водопропускная способность скважин, понижения между ними и в самих скважинах.

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Гидротехнические сооружения в системах водоснабжения проектируются и строятся на реках в следующих случаях:

а) глубина реки небольшая и не обеспечивает нормальных условий забора воды;

б) река сильно шугоносна, несет значительное количество взвесей;

в) естественный расход реки небольшой и не позволяет осуществлять проектируемый отбор воды без нарушения санитарных и рыбохозяйственных условий участка реки ниже проектируемого водозабора, а также условий существующего или намечаемого водоснабжения населенных мест, промышленных предприятий и орошаемых земель, расположенных в бассейне этой реки или тяготеющих к нему ниже проектируемого водозабора.

### 1. СОСТАВ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Если глубина реки в месте водозабора недостаточна (менее 3 м), возводятся полузапруды, струенаправляющие дамбы (шпоры, буны) или водоподъемные плотины — сооружения, сдвигающие и подпирающие русловой поток и повышающие его уровень.

Полузапруды и струенаправляющие дамбы выводят в русло реки с противоположного по отношению к водозабору берега и возводят из местных грунтов с креплением откосов и гребня камнем или железобетонными плитами, из камня (каменнонабросные или выложенные насухо), дерева (ряжевые), бетона.

Водоподъемные плотины размещают в русле реки, они сопрягаются на ее берегах с поймой. Их сооружают как отдельно от водозабора, так и в совмещенном с ним виде. Плотины возводят в основном двух типов — затворные и водосливные. Последние устраивают на реках несплавных, несудоходных и характеризующихся высокими паводковыми горизонтами. Водоподъемные плотины по составу материала, из которого они возводятся, могут быть однородными — земляными, каменнонабросными, бетонными или разнородными — с различным соотношением местных грунтов и бетона.

На водозаборах из рек, несущих большое количество ледовой шуги или минеральных взвесей, устраивают водоприемные ковши — различной формы в плане и разного заглубления в берега и русло реки. Ковши ориентируют на вход в них воды снизу или сверху (по течению), что определяется в каждом конкретном случае характером течений и отложения взвесей. Иногда ковши обваловываются дамбами; откосы ковшов и дамб крепятся камнем или железобетонными плитами.

Если естественный расход реки (с учетом общего баланса водопотребления и водоотведения данного района) не позволяет отобрать заданный расход воды, применяется сезонное или многолетнее регулирование ее стока. В этом случае в долине реки создается водохранилище путем сооружения водохранилищной плотины. В зависимости от требуемого объема водохранилища, морфологии долины реки и ее уклона высота плотин может быть от первого десятка до нескольких десятков метров и более. Водохранилищные плотины сооружаются обычно из местных грунтов: суглинков, глин, естественной смеси гравийно-галечных отложений с глиной и суглинком, песков, камня, а также из перечисленных материалов в том или ином их сочетании. В соответствии с этим различают земляные плотины из однородных грунтов (связных или обломочных), каменно-земляные и каменнонабросные. Первые возводятся насыпным или намывным способом, вторые — наброской камня в каменную часть плотины и насыпкой (связного грунта) или намывом (мелкообломочного) в земляную часть, третьи — наброской камня в общий объем тела плотины и его отсыпкой слоями при оформлении профиля плотины. Основные элементы профиля этих плотин показаны на рис. 11.

В общую конструкцию указанных типов плотин входят как неотъемлемые их части те или иные устройства: сопрягающие тело плотины с естественным основанием и противофильтрационные — зуб, ядро, диафрагма, экран с зубом, экран с понуром, экран с зубом и цементационной завесой, зуб со шпунтом, а также дренажные (дренажи призмный, наклонный, трубчатый, плоский, горизонтальный).

В состав узла гидротехнических сооружений наряду с плотинами входят водосливы (водосбросы) для пропуска в нижний бьеф избытка паводковых и ливневых вод и водоспуски для санитарных попусков воды из водохранилища в нижележащую часть реки, отбора воды на водоснабжение и частичного или полного при необходимости опорожнения водохранилища.

Водосбросные сооружения размещают как на склонах долин, так и на ее пойме или одной из террас. На склоне долины водосброс располагают вне плотины в непосредственной близости от места ее сопряжения со склоном, иногда по местным условиям (топографическим и геологическим) в удалении от плотины, на значительном расстоянии обходом от места ее примыкания к склону.

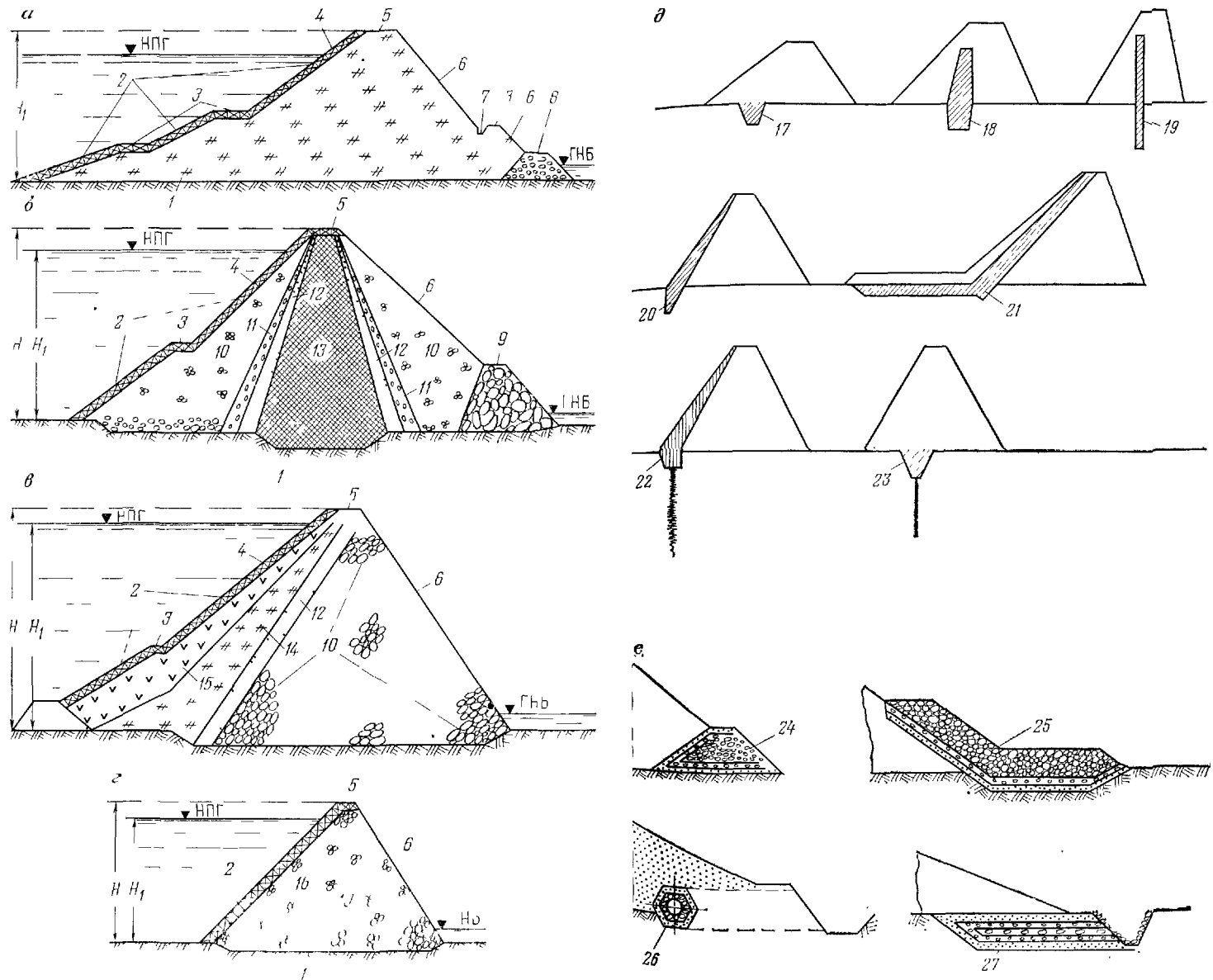


Рис 11 Типы водохранилищных плотин (а—г), элементы сопряжения тела плотины с основанием (д) и дренаж (е)

а — земляная, б — каменно-земляная с ядром, в — каменно-земляная с экраном, г — каменнонабросная. 1 — основное плотины, 2 — верховой откос, 3 — бермы, 4 — крепление откоса камнем, 5 — гребень плотины, 6 — низовой откос, 7 — кювет, 8 — дренажная призма, 9 — наброска крупного камня, 10 — уплотненная насыпь грунтом, 11 — переходный слой из мелкообломочного материала (гравия), 12 — фильтр, 13 — глиняное ядро, 14 — глиняный экран, 15 — пригрузка местным грунтом, 16 — железобетонное крепление, 17 — с зубом и цементационной завесой, 18 — ядро, 19 — диафрагма, 20 — экран с зубом, 21 — экран с понуром, 22 — экран с зубом и шпунтом, 23 — зуб со шпунтом. Дренаж: 24 — призматический, 25 — плитный, 26 — плоский горизонтальный.  $H_1$  — высота подпора,  $H$  — высота плотины.

Береговой водосброс представляет собой канал. Головная его часть, размещаемая в верхнем бьефе, называется подводящей, а часть канала, располагаемая в пределах ширины плотины и в нижнем бьефе, состоит из трех элементов: верхнего отводящего, среднего — быстротока, нижнего — сопрягающего водосброс с рекой.

Береговые водосбросы устраиваются как нерегулируемые, так и регулируемые, т. е. с затворами. Первые сооружают на малых водохранилищах с небольшими расходами паводковых вод, пороги их размещают на уровне НПГ; вторые — на водохранилищах с большим объемом воды в половодье, их пороги размещают ниже НПГ, на глубине, определяемой расчетом пропускной способности водосброса и его строительной стоимости при тех или иных габаритах (глубине, ширине, количестве пролетов и затворов, объеме насыпи выше форсированного горизонта и др.).

Водоспуски сооружают под плотинами с заглублением в дно долины, в связи с чем их называют донными. Они представляют собой железобетонные тоннели, в которых размещают металлические трубы. В верхнем бьефе примерно в пределах нижней четверти верхового откоса сооружается башня с затворами для регулирования расхода воды по водоспуску.

При компоновке узла гидротехнических сооружений нередко целесообразно совмещение водосброса с водоспуском. В таких случаях строится одно сооружение (водосброс-водоспуск), размещаемое в пределах долины на наиболее низких отметках. Сооружение заглубляется в дно долины и сопрягается с телом плотины по всей ее высоте от основания до гребня.

## **2. СХЕМЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ РЕЧНЫХ ДОЛИН**

Изыскания в долинах рек для создания водохранилищ проводятся в различных природных условиях, влияющих как на выбор участка под сооружения, так и на изыскания.

Основными и во многом взаимосвязанными естественноисторическими особенностями долин, определяющими направление инженерно-геологических исследований, их объем и методику, являются при прочих равных условиях геоморфологическое строение, состав пород коренной основы, их генезис, условия залегания, физическое состояние, мощность покровных отложений и их состав, глубина и характер залегания подземных вод.

По морфологии поперечного сечения долины делятся [64] на каньонообразные, одностороннего и двустороннего развития (рис. 12). Каньонообразные долины или их каньонообразные части в пределах рассматриваемого участка по поперечному сечению и по длине долины сложены скальными однородными или разнородными породами. Продольные уклоны таких долин большие, скорости течения воды в руслах значительные; аккумуля-

тивные террасы отсутствуют, склоны долин крутые, часто обрывистые, местами отвесные. Дно реки нередко скальное, иногда порожистое или выполнено крупными слабо окатанными и неокатанными обломками и глыбами скальных пород. Наряду с этим в некоторых каньонообразных долинах с относительно меньшими продольными уклонами местами наблюдаются на одном или обоих берегах в форме узких, иногда прерывистых полос пойменные террасы, сложенные аллювием. Мощность отложений на таких террасах обычно не превышает нескольких метров.

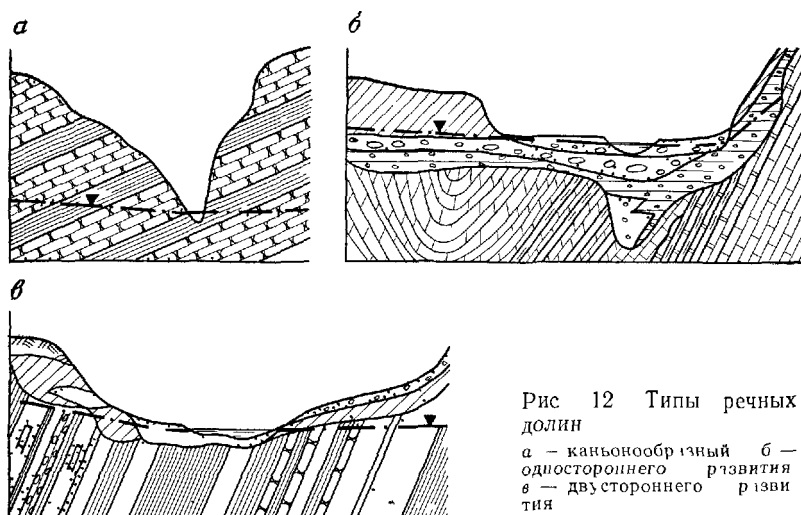


Рис. 12 Типы речных долин  
а — каньонообразный б —  
одностороннего развития  
в — двустороннего развития

Долины одностороннего развития встречаются также в однородных и разнородных по генезису и составу коренных породах. Характерным для них являются асимметричность склонов, прижатость русла реки к крутому склону, сложенному обычно скальными породами, подмываемость этого склона и полное отсутствие аллювиальных отложений или наличие их в узких полосах бичевника или поймы. Мощность покровных отложений на этом склоне обычно небольшая. Противоположный склон долины пологий, коренные породы на нем прикрыты нередко мощным чехлом делювия. Долина выполнена аллювиальными образованиями различного состава (суглинками, супесями, песками, галечниками) переменной, часто значительной мощности.

Долины двустороннего развития встречаются в однородных и в неоднородных породах коренной основы, в скальных и в обломочных связных и рыхлых породах. Долины этого типа характеризуются пологими и длинными склонами и обычно значительной мощностью покровных отложений в самой долине (в особенности в переуглубленных долинах) и на ее склонах.

### 3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ВЫБОРА СТВОРА ПЛОТИНЫ В ДОЛИНАХ РАЗЛИЧНОГО МОРФОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

Выбор места расположения створа проектируемой плотины для создания водохранилища проводится в два этапа.

На первом этапе по предварительным водохозяйственным и технико-экономическим расчетам намечается отрезок долины, в пределах которого целесообразно и возможно создание водохранилища. Этот этап работы выполняется на основе сбора, систематизации, анализа и обобщения материалов ранее проводившихся в данном районе изысканий и исследований (топографических, гидрологических, геоморфологических, геологических, геофизических, гидрогеологических, почвенно-ботанических, мелиоративных и др.) в совокупности с данными натурных рекогносцировочных комплексных инженерно-геологических обследований участков долины реки, намечаемых предварительно камеральным путем. В случаях, когда материалов ранее выполнявшихся изысканий недостаточно для освещения инженерно-геологических условий долины, при рекогносцировочных обследованиях производятся в минимальном объеме разведочные, опытные и лабораторные работы: бурение отдельных скважин, вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) в отдельных точках для определения мощности покровных отложений в долине реки, характера тектонических нарушений, глубины залегания подземных вод и др. При необходимости производятся также промеры глубины реки, разовые измерения расходов, отбор и анализ отдельных проб воды.

Первый этап работ по выбору створа водохранилищной плотины выполняется в общем комплексе предпроектных проработок по составлению общего баланса водопотребления и водоотведения района и выбору источников водоснабжения. Работы выполняются в форме ТЭО, схемы или основных принципиальных технических решений. На первом этапе выбора створа водохранилищной плотины намечается главным образом участок долины, в пределах которого сооружение гидроузла и создание водохранилища наиболее экономично по сравнению с рядом других рассмотренных участков. Створы же возможного расположения гидроузла, применительно к которым определяются размеры плотины, площадь и объем водохранилища, намечаются ориентировочно.

При выборе створов наряду с такими факторами, как расстояние будущего источника водоснабжения от водопотребителя, приточность реки на участке выше створа плотины, форма, площадь зеркала и глубина будущего водохранилища, расстояния от створа до месторождений естественных строительных материалов и др., принимается в расчет морфология долины по створу плотины — профиль ее поперечного сечения, характер склонов



и ширина долины. Последнее существенно влияет на объем предстоящих строительных работ, поэтому створ плотины обычно стремятся наметить в наиболее узком месте долины. При этом могут встретиться различные условия.

1. Относительно узкие участки долины значительной протяженности или длиной не менее 0,5 км ниже будущей плотины, с симметричными и прямыми по длине долины склонами, сложенные осадочными некарстующимися без разрывных нарушений или изверженными породами. Здесь залегают обычно однородные по генезису, литологии и физическому состоянию породы. Такие участки, безусловно, представляют интерес как место возможного расположения плотины.

2. Узкие (иногда очень узкие) участки долины, сложенные скальными карстующимися или сложнодислоцированными, раздробленными и сильнотрещиноватыми породами. Такие участки при всей заманчивости создать здесь водохранилище (выполнение небольшого объема работ по возведению плотины), как правило, неперспективны в смысле их пригодности для размещения узла гидротехнических сооружений. Так, каньонообразное ущелье в долине р. Черной в Крыму, расположенное на выходе ее из Байдарской долины и имеющее ширину около 50 м по низу, около 150 м по верху, глубину около 100 м и почти отвесные голые склоны, сложенные юрскими известняками, исследовалось с целью расположения в нем плотины в течение длительного периода — с 1916 по 1938 гг. Однако положительного решения так и не было принято, поскольку на первых же метрах этого ущелья река в межень целиком уходила в карстовые пустоты. Только в 1938 г. по нашим изысканиям был выбран, наконец, створ плотины выше этого каньона в области развития нижнемеловых отложений (мергелистых глин валанжина и готерива). Створ плотины здесь по сравнению со створом в каньоне оказался хотя и длиннее во много раз, но в геологическом отношении намного проще. Это позволило создать крупное водохранилище путем возведения обычной земляной плотины с экраном, мелким зубом в основании, коротким понуром в пределах поймы и глиняным пластырем на левом склоне долины в местах выхода на дневную поверхность прослоев конгломератовидных песчаников и известняков, содержащихся в глинах.

Другой пример. Река Нугуш в Башкирии, перед тем как окончательно выйти в обширную область пермских отложений, прорезает антиклинальную складку каменноугольных известняков и доломитов. При обследовании долины этой реки на первый взгляд казалось, что лучшего места для расположения плотины в пределах складки нельзя найти: ширина долины около 300 м, склоны высокие средней крутизны, мощность аллювия 5—7 м. Однако работы по обоснованию возможности размещения здесь плотины успеха не имели. Закарстованность известняков и доломитов в дне долины и на ее склонах в пределах всей ширины складки оказалась более интенсивной, чем предполагалось. Сооружение

по этому створу надежной водохранилищной плотины потребовало бы устройства глубокой и длинной (длиннее самого створа) противофильтрационной завесы. В связи с этим строительная стоимость плотины по данному створу оказалась намного выше, чем по другим вариантам более длинных створов, расположенных вне зоны карта, а также выше, чем по окончательно выбранному створу длиной 1500 м в области развития мергелей и доломитов пермокарбона в зоне современных опусканий долины

3. Узкие участки долины в скальных осадочных породах, образованные мысоподобными выступами в долину одного из ее склонов. Породы в таких выступах обычно сильно выветрелые (мыс «продувается» со всех сторон, кроме тыльной) и трещиноватые, обладают высокой потенциальной водопроводимостью. В местах приращения плотины к этим выступам-мысам путь фильтрации из верхнего бьефа водохранилища в нижний часто оказывается недопустимо коротким Это, как правило, исключает возможность сопряжения плотины со склоном мыса без мероприятий по противофильтрационной консолидации слагающих его пород. При этом длина необходимой консолидации пород в глубь склона оказывается больше ширины мыса.

При изысканиях для строительства Карабашского водохранилища на р. Степной Зай в Татарии нами были исследованы шесть вариантов возможного по гидрологическим условиям расположения плотины в суженных местах долины, образованных мысоподобными выступами в нее правого склона, сложенного песчаниками верхней перми. Ни один из этих вариантов не выдержал конкуренции с седьмым вариантом створа, исследованным в расширенной части долины с таким же, как и на шести других створах, геолого-морфологическим строением левого склона долины и выположенным, несколько даже вогнутым правым. Те же песчаники в этом склоне оказались более сохранными и менее водопроницаемыми (после уточнения требуемого объема водохранилища подошва песчаников на склоне оказалась на отметке НПП, см. рис. 15).

4. Участки долины с поперечным профилем нормального развития, сложенные изверженными интрузивными породами или эффузивными образованиями, отложившимися в водной среде (море, океане), а также суженные участки долины вследствие выступа в долину одного из склонов с теми же изверженными породами. Такие участки, несомненно, представляют интерес как место возможного расположения створа плотины, поскольку указанные породы имеют относительно однородный состав и, как правило, невысокую водопроводимость. Например, для создания водохранилища на р. Тетерев створ был выбран на участке долины шириной около 150 м, сложенном гранитами с удельным водопоглощением не более 0,2 л/мин в верхней выветрелой и наиболее трещиноватой зоне, около 0,1 л/мин в средней зоне и менее

0,03 л/мин в нижней. Верхняя граница нижней зоны находится на глубине 15—20 м от поверхности земли.

Можно отметить аналогичные благоприятные инженерно-геологические условия и по выбранным нами створам плотин в ряде долин Приморья на участках, сложенных гранитами, диоритами, порфиритами, а также в долине р. Тельбес (Кузбасс) на участке развития адамеллитов и в долине Бол. Киалим (Урал) на участке, сложенном дунитами. Особенно характерным в этом отношении оказался створ плотины в долине правого притока р. Артемовки в Приморье на участке, сложенном туфобрекчией — плотной монолитной практически нефилтующей породой.

5. Участки долин расширенного поперечного сечения с обоими пологими склонами. При кажущейся на первый взгляд малой пригодности таких участков для размещения плотины исключать их из рассмотрения при выборе створа не следует. В таких местах коренные породы по всему поперечному профилю долины или по крайней мере на ее склонах часто представлены полускальными или нескальными, в той или иной мере глинистыми, слабо сцементированными или связными и рыхлыми породами. Главное же состоит в том, что коренные породы здесь на склонах долины прикрыты обычно мощной толщей делювиально-элювиальных образований.

В таких условиях стоимость сооружения плотины даже при значительной ее длине может оказаться меньше стоимости короткой на узком участке долины с более сложными инженерно-геологическими условиями.

6. Участки долины реки вблизи мест впадения в нее притоков или боковых оврагов и балок. Такие участки при выборе створа плотины должны намечаться для разведки и опробования с осторожностью, поскольку при расположении плотины выше впадения притока (ручья, балки, оврага), но близко к нему, здесь может оказаться коротким путь обходной фильтрации из водохранилища, а при размещении ее ниже, но также вблизи притока может быть большой вынос взвешенных и донных наносов в водохранилище перед плотинной.

При выборе створа плотины в долинах, сложенных скальными и полускальными породами, наряду с геоморфологическим строением рассматриваемых участков долины необходимо учитывать геологическую структуру и характер тектонических нарушений, а также положение будущей плотины по отношению к элементам залегания пород и зонам разрывных тектонических нарушений. Эти природные факторы в зависимости от положения их по отношению к простиранию долины и возможного направления линии выбираемого в ней створа плотины создают в одних случаях благоприятные инженерно-геологические условия, в других — неблагоприятные.

Б л а г о п р и я т н ы е   у с л о в и я : 1) ось плотины расположена по простиранию пород, падающих в направлении верх-

него бьефа; 2) ось плотины расположена вкрест простирания пород при их моноклинальном залегании в пределах долины. В этом случае следует, однако, иметь в виду, что условия в местах примыкания плотины к склонам будут неодинаковыми — на одном склоне может быть облегчена фильтрация, но более надежна устойчивость пород; на другом, наоборот, затруднена фильтрация и менее надежна устойчивость пород; 3) плотина расположена на породах, залегающих в пределах долины горизонтально.

Неблагоприятные условия: 1) ось плотины расположена по простиранию пород, падающих в направлении нижнего бьефа; 2) ось плотины расположена по простиранию или вкрест простирания оси антиклинальной складки; 3) ось плотины расположена по простиранию или вкрест простиранию оси синклинальной складки. Первый случай по сравнению со вторым менее благоприятен по условиям фильтрации и более благоприятен в отношении устойчивости сооружения. Расположение оси плотины по простиранию или вкрест простирания синклинальной складки более благоприятно, чем такое же расположение плотины на антиклинальной складке.

Наряду с отмеченным при выборе створа плотины следует обращать особое внимание на тектонические условия участка долины и располагать его по возможности вне зон разрывных нарушений пород. Особенно неблагоприятно наличие продольного по отношению к долине реки сброса, простирающегося по ее дну или по одному из склонов (это нередко наблюдается в районах разрывных дислокаций, когда сама долина реки оказывается заложена по простиранию крупного тектонического нарушения). При наличии таких сбросов условия строительства плотины в отдельных случаях существенно усложняются. Так, в отмеченной выше долине р. Черной в Крыму продольный сброс был выявлен при детальном изыскании в левом примыкании плотины, сложенном глинами с прослоями конгломератовидных песчаников и известняков. Амплитуда сброса здесь небольшая (около 10 м), однако песчаники и известняки раздроблены в этих прослоях и характеризуются удельным водопоглощением 80—100 л/мин. Это потребовало вскрытия прослоев песчаников и известняков в местах их выхода на поверхность на склоне долины в зоне затопления и наложения на них глиняного пластыря.

В долине р. Артемовки, где еще при выборе створа было ясно, что отойти от крупного тектонического нарушения невозможно, поскольку долина заложена по его простиранию, потребовалось при строительстве выполнить в основании плотины сложные работы по созданию глубокой противофильтрационной цементационной завесы. Наличие крупных зон тектонических нарушений необходимо учитывать при выборе створа и в отношении сейсмостойкости проектируемых сооружений. Вместе с тем следует иметь в виду, что не всякое тектоническое нарушение опасно, в частности, в фильтрационном отношении. Древние сбросы нередко

являются «залеченными», особенно в полускальных породах, которые в зонах дробления, смятия изменяют свою структуру, обретая облик бесформенной глинистой породы с меньшей водопроницаемостью по сравнению с этими сохранными породами вне зоны их нарушения.

При выборе створа плотины следует принимать во внимание и степень устойчивости пород против растворимости и размываемости. Практически нерастворимыми породами являются:

- изверженные интрузивные и эффузивные — граниты, сиениты, диориты, габбро и их производные, а также туфы и вулканические пемзы, шлаки, пеплы, пески;

- осадочные — песчаники, конгломераты, брекчии на кварцевом и железистом цементе, а также кремнистые туфы, трепел, опоки, аргиллиты, алевролиты, сланцы на известково-глинистом цементе, глины;

- метаморфические — гнейсы, гранито-гнейсы, кристаллические сланцы, кварциты.

К растворимым породам относятся:

- осадочные — известняки и доломиты (некремнистые и нежелезистые), мел, ракушечники, известковые туфы, мергель, гипс, ангидрид;

- метаморфические — мраморы.

К размываемым породам относятся:

- изверженные — слабо уплотненные туфы, шлаки, пеплы, пемза, пески;

- осадочные — полускальные породы на известково-глинистом цементе, а также пески, глины.

Важным природным фактором, который следует по возможности учитывать (по наличию и положению источников — родников, показанных на топографических или гидрогеологических картах или наблюдаемых при рекогносцировочном обследовании), является глубина залегания уровня подземных вод на склонах долины в пределах и выше проектируемого НПГ. Чем ниже и ближе этот уровень, тем менее благоприятными являются гидрогеологические условия створа.

Второй этап работы по выбору створа плотины связан уже со стадией реального проектирования — с техническим проектом (при существующей стадийности проектирования). На этом этапе в пределах участка долины (протяженность которого может быть от первых единиц до десятка километров), выбранного на первом этапе с ориентировочным расположением сооружений гидроузла, намечаются несколько (два, три, а иногда и более) вариантов створа плотины для предварительной их разведки, сопоставления по степени сложности инженерно-геологических условий и технико-экономическим показателям строительства и эксплуатации сооружений и окончательного выбора створа для детальных изысканий и проектирования.

При выборе на этом этапе из ряда вариантов створа плотины учитываются (наряду с затопливаемостью земель, сносом строений, объемом работ по подготовке чаши, удаленностью месторождений или действующих карьеров строительных материалов и др.) следующие основные факторы инженерно-геологических условий, определяющие конструкцию сооружений, способы и стоимость их строительства. мощность и состав покровных отложений, состав и физическое состояние коренных пород, физико-геологические явления и процессы, размер фильтрационных потерь воды из водохранилища.

В соответствии с этим на участке долины по намеченным в его пределах вариантам створа плотины проводятся инженерно-геологические исследования в объеме, позволяющем сравнить эти варианты и выбрать из них наиболее экономичный.

Состав исследований в общем случае включает инженерно-геологическую съемку, геофизические, буровые и горнопроходческие работы, опытные полевые и лабораторные определения фильтрационных, физико-механических и прочностных свойств грунтов, изучение химического состава подземных и поверхностных вод. При этом инженерно-геологическая съемка по участку долины в целом ставится в самом начале этого этапа с целью получения по данному виду работ окончательного результата, тогда как разведочные и опытные работы по вариантам створов плотин проводятся в объеме, необходимом лишь для выбора створа с целью последующей детальной его разведки.

#### **4. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА СТОРА ПЛОТИНЫ**

##### **Инженерно-геологическая съемка**

Инженерно-геологическая съемка является важнейшим видом работ в общем комплексе инженерно-геологических исследований для проектирования и строительства водохранилищных плотин и водохранилищ. Как метод познания инженерно-геологическая съемка является сложным и трудным делом, а ее результаты особенно ответственные. Поэтому для производства инженерно-геологической съемки должны назначаться инженеры-геологи, имеющие опыт этой работы и знания во многих областях геологических наук. При этом такие исследования, как петрографические, минералогические, палеонтологические и геофизические, геолог-съемщик сам не ведет, но он должен организовать их целенаправленно и оценить результаты, отобрать образцы пород, воды и фауны, интерпретировать вместе с геофизиками данные геофизических работ и использовать все эти результаты для обоснования выводов и заключений по съемке. Наряду со знаниями геолог-съемщик должен обладать качеством исследователя — уметь наблюдать и собирать факты, систематизировать их, анализиро-

вать и обобщать, видеть в единичных фактах проявления общих закономерностей, создавать версии, гипотезы, сомневаться в них, находить новые факты и не торопиться с выводами.

Даже при наличии у геолога-съемщика указанных выше знаний и опыта успех инженерно-геологической съемки возможен лишь в случае, если он будет опираться на все то, что сделано до него другими исследователями в части изучения природных условий данного района. Поэтому подготовке к выполнению инженерно-геологической съемки (как и к проведению всего комплекса исследований топо-геодезических, геологоразведочных, геофизических и гидрологических) — сбору и изучению материалов предшествующих изысканий, а также составлению программы работ — должно уделяться особое внимание.

При инженерно-геологической съемке участка долины, в пределах которого намечено разместить плотину и водохранилище, всегда встают два важных вопроса: площадь и масштаб съемки.

При установлении границ инженерно-геологической съемки следует исходить из необходимости изучения природной геологической и гидрогеологической обстановки на такой площади, в пределах которой эта обстановка и проектируемые в ней сооружения (плотина и водохранилище) окажутся во взаимосвязи, т. е. сооружения будут оказывать воздействие на породы, слагающие долину и прилегающие к ней площади, вызывать переформирование склонов долины, изменение гидрогеологических условий, возникновение физико-геологических процессов и др., а природная обстановка будет влиять на устойчивость сооружений, сохранность воды в водохранилище и условия его эксплуатации. Таким образом, критериями установления границ инженерно-геологической съемки являются в общем случае высота, до которой будет затоплен участок долины (т. е. высота проектируемого подпора на плотине и зона его выклинивания), характер и степень сложности геологической структуры участка долины, морфологические особенности долины и прилегающих к ее склонам территорий.

При горизонтальном или слабо дислоцированном (без разрывных нарушений) залегании коренных пород, слагающих долину, и отсутствии вблизи нее глубоко врезаемых (ниже отметок проектируемого НПГ) водотоков, впадающих в эту же долину ниже створа будущей плотины или протекающих параллельно либо под углом к ней и впадающих в бассейны других рек, границы общей площадной съемки могут быть установлены по линиям четырехугольника: в 1 км ниже створа плотины, в 0,5 км выше выклинивания НПГ в русле реки (в верхнем бьефе) и в 1—1,5 км в обе стороны (в глубь водоразделов) от верхних бровок незатапливаемых склонов долины. В таких же условиях, но при наличии близко расположенных соседних долин, врезаемых до отметок ниже отметки НПГ, границы съемки расширяются с захватом этих долин. Последнее особенно важно в сильно дислоцированных

районах, когда долина проходит, например, по оси антиклинали или прорезает толщу моноклинально залегающих пород, предопределяя тем самым возможность повышенной фильтрации через оба склона (в первом случае) или через один из склонов (во втором случае).

Еще большее внимание требуется уделять проведению границ площадной съемки при наличии в пределах створа плотины и чаши водохранилища дизъюнктивных дислокаций (поперечных и диагональных по отношению к долине сбросов), а также при наличии карста. В этих случаях пространство между будущим водохранилищем и соседними, близко расположенными долинами и сами долины должны быть включены в общую площадь съемки и детально изучены.

Границы инженерно-геологической съемки бывает необходимо расширить и в тех случаях, когда общая геологическая структура снимаемого участка долины может быть установлена лишь путем обследования по отдельным маршрутам сопредельных с данным участком территорий.

Масштаб общей по участку створа плотины и чаши водохранилища инженерно-геологической съемки выбирается в зависимости от степени сложности геологического строения участка и размеров площади съемки. При проектировании для водоснабжения обычных водохранилищ в простых геологических условиях масштаб инженерно-геологической съемки может быть принят 1 : 25 000 при длине чаши водохранилища до 10—15 км или 1 : 50 000 при длине чаши до 20—30 км. В сложных геологических условиях или при широком развитии физико-геологических процессов и явлений масштаб инженерно-геологической съемки не должен быть мельче 1 : 25 000, а при небольшой длине водохранилища (до 10 км) и особенно сложном геолого-литологическом строении — 1 : 10 000.

Конечной целью инженерно-геологической съемки является составление так называемой синтетической инженерно-геологической карты, отражающей значение всех природных факторов, так или иначе определяющих инженерно-геологические условия строительства и эксплуатации водохранилища. В соответствии с этим содержание инженерно-геологической съемки является комплексным, включающим: методы наземных наблюдений, геофизическую, буровую и горнопроходческую разведку, полевые и лабораторные исследования, изучение геологического строения (стратиграфии, литологии, тектоники), гидрогеологических условий, геоморфологических особенностей площади съемки, характера физико-геологических процессов и явлений (размывы, обрушения, обвалы пород, оплывы, оползни, сели, карст) в ее пределах, а также состава и состояния пород, слагающих эту площадь (сохранность, прочность, физико-химическая, гидродинамическая и гравитационная устойчивость, водопроницаемость и др.).



Главной составной частью инженерно-геологической съемки является геологическая съемка. Лишь на основе правильно отраженного геологического строения могут быть целенаправленно изучены, поняты и интерпретированы применительно к поставленным задачам проектирования и строительства все другие природные факторы. Материалы общей инженерно-геологической съемки участка долины, намеченного под создание водохранилища, должны вместе с тем служить надежной основой для определения состава, объема и мест проведения разведочных и опытных работ, в частности, на площади чаши водохранилища с целью определения постоянных и временных потерь воды из нее на фильтрацию.

Геологическая съемка выполняется по общепринятой методике, достаточно полно разработанной и освещенной в трудах В. А. Обручева, В. Н. Вебера, В. А. Апродова и др. При геологической съемке важно выбрать в зависимости от характера залегания пород метод картирования, позволяющий в более короткое время получить фактический материал для составления нормального геологического разреза и выявления характера геологической структуры. При этом рекомендуется руководствоваться следующим.

В районе с горизонтальным и пологим залеганием пород максимум информации может быть получен на маршрутах по глубоким речным долинам, где в нормальном разрезе можно выделить маркирующие горизонты. Последние необходимо прослеживать по их простирацию, имея в виду, что при горизонтальном залегании пород выходы пластов на поверхность земли вытянуты примерно вдоль горизонталей рельефа.

В районах пликативных дислокаций геологическую съемку следует вести по маршрутам вкрест простираения пород, что позволяет выявлять основные структуры или часть их в пределах картируемой площади.

В районах развития дизъюнктивных (разрывных) нарушений съемка выполняется также по маршрутам вкрест простираения пород, а прослеживание линий, зон собственно разрывных нарушений (сбросов, надвигов) — по их простирацию.

Поскольку инженерно-геологическая съемка является комплексным видом исследований, одновременно с геологическим картированием проводятся геоморфологические и гидрогеологические наблюдения и документация. При этом задача геоморфологических наблюдений и документации состоит не только в описании форм рельефа, но и в объяснении их происхождения и выявлении стадии развития тех или иных форм и их взаимосвязи с геологическим строением: условиями залегания пород, древней и современной тектоникой, составом пород, выветриванием, эрозией и аккумуляцией. На картируемой площади наряду с естественными могут встретиться и искусственные (антропогенные) формы рельефа (карьеры, колодцы, шахты с водоотливом из них,

каналы, выемки, насыпи, отвалы вскрышных пустых пород и др.) Эти формы, так же как и естественные, должны быть детально задокументированы и оценены как явления, которые могут отрицательно сказаться на условиях строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений и водохранилища в целом. Гидрогеологические наблюдения и документация должны дать отчетливое представление о подземных водах в покровных и коренных породах: место и условия их залегания в нормальном геолого-литологическом разрезе, площади распространения водоносных горизонтов, напоры, уровни, области питания, разгрузки, связь с поверхностным стоком, водообильность, качество подземных вод.

Т а б л и ц а 1

**Необходимое число точек наблюдений на 1 км<sup>2</sup> площади инженерно-геологической съемки в зависимости от ее масштаба и категории сложности геологического строения района**

Масштаб съемки	Категория сложности геологического строения	При отсутствии геологической карты требуемого масштаба				При наличии геологической карты требуемого масштаба			
		Общее число точек	Из них разведочных выработок при обнаженности			Общее число точек	Из них разведочных выработок при обнаженности		
			хорошен	удовлетворительной	плохой		хорошей	удовлетворительной	плохой
1 50 000	I	2,3	0,05	0,3	0,9	1,27	0,023	0,06	0,35
	II	3	0,06	0,4	1	1,94	0,03	0,09	0,45
	III	5,3	0,1	0,5	1,6	3,49	0,05	0,15	0,75
1 25 000	I	6	0,3	1,2	2,4	—	—	—	—
	II	8	0,4	1,6	3	—	—	—	—
	III	10	0,5	2	4	—	—	—	—
1 10 000	I	14	0,7	3	6	—	—	—	—
	II	26	1,3	5,5	11	—	—	—	—
	III	34	1,7	6,8	14	—	—	—	—

**П р и м е ч а н и е** Хорошая обнаженность — обнажения встречаются часто как по долинам, так и на водораздельных пространствах; удовлетворительная — обнажения встречаются редко и приурочены только к отдельным формам рельефа (склонам долин или водоразделам); плохая — обнажения встречаются очень редко.

Инженерно-геологическая съемка по числу точек наблюдений должна быть кондиционной (табл. 1), выполняться на кондиционной топографической основе. Особо важные объекты наблюдений (линии тектонических нарушений, зоны дробления и смятия пород, карстовые формы, крупные оползни, обвалы, опорные обнажения и разведочные выработки, родники, участки развития торфа значительной мощности и др.) должны привязываться инструментально. Инженерно-геологическая съемка сопровождается

геофизической разведкой (обычно электроразведкой), опирается на ее данные, используя их при интерпретации тех или иных фактов и явлений и при построении карт и разрезов.

При наличии по району расположения проектируемого водохранилища кондиционной геологической карты требуемого масштаба геологическая съемка не производится. Геологическая карта в этом случае используется как основа инженерно-геологической съемки с проверкой (сопоставлением) карты с натурой и уточнением при необходимости геологического строения отдельных участков картируемой площади.

При инженерно-геологических исследованиях, в частности при инженерно-геологических съемках, важно наблюдать, сопоставлять и использовать взаимосвязи между отдельными природными явлениями:

1) характером рельефа и темпом тектонических поднятий (при медленном поднятии образуются пологие формы рельефа);

2) высотой тектонических поднятий и составом исходного материала осадочных пород (при малых поднятиях размываются осадочные толщи, метаморфические и изверженные породы могут остаться нетронутыми);

3) высотой и темпом поднятий и характером эрозии, типом выветривания и мощностью коры выветривания (при малых и медленных поднятиях интенсивность эрозии слабая, продукты выветривания остаются на месте, подвергаются химическому выветриванию, образуется мощная толща коры выветривания) [94];

4) асимметрией склонов речных долин, не отвечающей известному закону Бэра и теориям А. П. Павлова и А. А. Борзова, и явлениями неотектоники [131];

5) между литологическим составом пород и формами рельефа — на рыхлых, связных и полускальных породах образуются пологие формы рельефа;

6) характером склонов речных, овражных долин и условиями залегания коренных пород — на относительно пологих склонах, покрытых мощным слоем делювия, следует ожидать падения коренных пород по склону в сторону долины, на крутых склонах, часто обнаженных, с осыпями, щебнем, крупными обломками и глыбами у основания, с карнизами и пирами на разной высоте (при чередовании скальных прочных и слабых пород или скальных, полускальных и рыхлых), падение коренных пород, как правило, в сторону склона;

7) цветом почв (и даже цветом пыли на дорогах) и цветом, литологическим составом и глубиной залегания от поверхности земли коренных пород. На обширных площадях Восточно-Сибирской платформы от Красноярска до Тайшета автор фиксировал по цвету почв и цвету пыли на дорогах контакты между отдельными стратиграфическими горизонтами пестроцветных толщ девона и юры;

8) почвами, лесной растительностью и литологическим составом коренных пород. При геологическом картировании долины р. Нугуш на участке Нугушского водохранилища автор на основе этой взаимосвязи легко прослеживал по простираению границы между отложениями карбона и перми — на известняках верхнего карбона почвы маломощные, травянистая растительность слабая, лес твердых пород, на аргиллитах перми почвы более мощные, травянистый покров пышный, лес мягких пород;

9) почвами, стадией их развития и произрастающими на них растительными ассоциациями;

10) морфологическим строением участка суши, литологическим составом слагающих его пород и прочностью последних как основания сооружений;

11) между видом растительности на участке и глубиной залегания грунтовых вод;

12) между минерализацией грунтовых вод и видом растительности и др.

Взаимосвязи, перечисленные в пунктах 9—12, особенно четко проявляются в аридных зонах: Туркмении, южных районах Казахстана, Узбекистане и др.

Многие из перечисленных взаимосвязей выявлялись автором и использовались, в частности, при инженерно-геологических исследованиях на западном побережье Каспийского моря, где в результате падения уровня моря и сокращения в связи с этим его акватории на десятки квадратных километров заливы в северной части моря превратились в сушу, северное побережье отошло на десятки километров \*. В южной части моря также исчез ряд заливов или сократились их размеры более чем в два раза, в результате чего от воды освободилась обширная территория, явившаяся предметом геологических исследований автора.

В целом как суша эта территория очень молода, а ее центральная часть насчитывала к моменту исследований всего лишь около 10 лет со времени освобождения от моря.

Этот естественноисторический факт нашел яркое отражение в целом ряде природных явлений: почвенном и растительном покрове данной территории, геоморфологических и гидрогеологических условиях и физическом состоянии грунтов и, что особенно существенно, во взаимосвязях между этими явлениями.

Однако эти связи не были явными, они вскрывались и затем использовались при выяснении природных условий данной территории и оценке ее в инженерно-геологическом отношении лишь в процессе изысканий.

Так, при бурении скважин и проходке шурфов на этой территории отмечалось, что в одних местах верхний слой грунтов мощностью около 30 см имеет заметную гумусовую грязно-серую

---

\* Вопрос о причинах падения уровня Каспия, а также о характере колебания и общего хода его снижения в новейшее время автор в данной работе опускает.

окраску и более или менее выраженную мелкокомковато-призматическую структуру, тогда как в других местах окраска верхнего слоя «почвы» не отличалась от окраски материнской породы и структурность почвогрунтов не обнаруживалась. В местах, где этот слой имел гумусовую окраску, органическое вещество, содержащееся в нем, переработано почвообразовательными процессами нацело, в связи с чем в почве не наблюдалось грубых органических включений, кроме свежих корней растений данного года. В других местах исходный материал гумусовой окраски почвогрунтов (корни и стебли отмерших растений) не переработан и встречался в верхнем слое грунтов в виде грубых включений (полуистлевших органических остатков). Наблюдалось также промежуточное состояние верхнего слоя грунтов.

При анализе и обобщении этих фактов становилось очевидным, что на данной территории в связи с ее молодым возрастом не успел еще сформироваться определенный тип почвы с каким-либо «законченным» профилем и что в почвенном отношении вся эта территория неоднородна и на ней имеются участки различной стадии развития почвообразовательных процессов.

При дальнейшем рассмотрении этих фактов выяснилось, что почвообразовательные процессы, являясь функцией всего комплекса «факторов-почвообразователей» (по В. В. Докучаеву), находились в данном случае в тесной связи с одним из них — микрорельефом территории, т. е. с совокупностью форм поверхности как дна бывшего залива, так и его непостоянных берегов, на которых создавались микроформы рельефа систематически отступавшим морем при колебании его уровня то в одну, то в другую сторону.

Указанные взаимосвязи были использованы при составлении геоморфологической карты данной территории и выделении на ней современных террас Каспия, береговых прибойных валов, прирусловых гряд дельт р. Куры, кос, намытых этой рекой и др., а также участков дна бывшего залива, последовательно освобождавшихся от моря.

Это, в свою очередь, позволило уточнить на исследуемой территории границы площадей с различными почвами, начиная со светлых солонцевато-переходных от слабо развитых луговых к полупустынным почвам и кончая примитивными почвами, в которых почвообразовательные процессы находились в начальной стадии развития.

В тесной связи с морфологическими особенностями, характером почв и стадиями развития почвообразовательных процессов находился и растительный покров: на определенных почвах поселялись характерные для них растительные группировки, отражавшие данную стадию развития почв. Так, площадь берегового прибойного вала была заселена плевелом жестким и костером японским с примесью люцерны, отдельными экземплярами кермека, кустами елгуна и мелкими пятнами бодяка полевого. Площадь

второй современной террасы Каспия была занята посевами ячменя, а на нераспаханных участках — отдельными кустами слабо развитого тамариска и пятнами петросимонии ветвистой. На площади первой современной террасы произрастали кермек, петросимония ветвистая и тонконог, а на площади пологого понижения от первого берегового уступа к площади дна бывшего залива, освободившейся от моря к 1933 г., наблюдался переход от растительных группировок первой террасы к типичным галофитам — солеросу, солянке содовой и др., заселявшим площадь дна залива, вышедшую из-под воды к 1936 и 1938 гг.

Перечисленные растительные группировки находились во взаимосвязи и с другими естественными условиями территории изысканий: глубиной залегания уровня грунтовых вод и степенью их минерализации. Эта связь настолько существенна, что отдельные факты, фиксировавшиеся в процессе изысканий, находили подчас единственное объяснение во влиянии растительного покрова.

Так, на отдельных наиболее пониженных в пределах исследованной территории участках с отметками минус 26,8—27,5 м уровень грунтовых вод на период изысканий находился на отметках минус 29,74 м при уровне Каспия минус 27,44 м, тогда как на повышенных участках с отметками минус 23—25 м, находившихся в аналогичных с пониженными участками литологических и гидрогеологических условиях, уровень грунтовых вод на тот же период фиксировался на отметках минус 25,9—26,1 м. Другими словами, в одинаковых гидрогеологических условиях в отдельных местах на пониженных участках уровень грунтовых вод залегал значительно ниже, чем на относительно повышенных участках.

Причина этого явления заключалась в том, что на отдельных местах пониженных участков произрастал тростник, испаряющий за сезон до 20 тыс. м<sup>3</sup> воды с 1 га и тем самым значительно понижающий уровень грунтовых вод.

На всей исследованной территории нами были выделены 23 участка, заселенные различными растительными группировками, главным образом галофитами и эфемерами.

Анализ и сопоставление фактических данных комплексных исследований установили и подтвердили известную для аридных зон страны взаимосвязь между отдельными растительными группировками и литологией грунтов, физико-механическими свойствами и степенью их засоленности, глубиной залегания грунтовых вод и их минерализацией.

Так, по химическим анализам водных вытяжек и грунтовых вод оказалось, что все пробы почвогрунтов и воды, в солевом составе которых преобладающую роль играют хлор и натрий, приходится на площади, заселенные солеросом и астрой солончаковой.

Наибольшие от поверхности земли глубины залегания уровней грунтовых вод в равных гидрогеологических условиях и одина-

ковом (а иногда и более низком) высотном положении оказывались на площадях, заселенных солеросом и тростником, испаряющими за сезон соответственно 4 и 20 тыс. м<sup>3</sup> воды с 1 га и снижающими уровень грунтовых вод.

Пробы грунтовых вод по химическому составу пресные и опресненные приходились на площади, заселенные тростником, осокой и елгуном. Таким образом, эти виды растений являются индикаторами на пресные и опресненные воды.

На площадях, сложенных с поверхности песчаными и супесчаными почвогрунтами, как правило, произрастала полынь песчаная. Эфемеры, сменявшие во времени галофиты, произрастали на площадях, раньше освободившихся от моря, и тем самым отображали морфологию территории исследований.

В свою очередь, каждому геоморфологическому элементу того или иного генезиса и возраста (времени образования или времени существования вне моря) на данной территории соответствовали только ему присущие по физическим свойствам и прочности грунты — от пластичных, способных нести нагрузку в  $(1,5-2) \times 10^5$  Па, до текучих, мало пригодных как основание сооружений без предварительной специальной их подготовки (уплотнения пригрузками, дренаж и др.).

Выявленные взаимосвязи широко использовались при обработке и обобщении материалов изысканий.

Так, составление карты инженерно-геологического районирования территории, в основу которого был положен принцип выделения площадей по несущей способности грунтов основания сооружений, четко контролировалось таким, например, фактором, как характер распределения на территории растительности из той или иной группы эфемеров или галофитов.

Использование указанных взаимосвязей позволило сократить объем полевых и лабораторных работ, необходимых для обоснования карт литологии поверхностных отложений, минерализации грунтовых вод, несущей способности грунтов как оснований сооружений и др. На этих картах выделялись площади с теми или иными особенностями не только по результатам проходки выработок и их описания, отбора проб грунтов, грунтовых вод и анализов их, но и по растительности, населявшей эти площади, высотному положению последних и времени их освобождения от моря.

Выявление и использование при геологических и гидрогеологических изысканиях взаимосвязей между отдельными природными явлениями позволяют сократить объемы разведочных и опытных (полевых и лабораторных) работ, вести изыскания более целенаправленно и полнее вскрывать сущность предмета исследований.

## Разведочные, опытные полевые и лабораторные работы

Состав и объем разведочных, опытных полевых и лабораторных работ в начале второго этапа исследований намечается, как отмечено выше, по вариантам створа плотины лишь для сравнения вариантов и выбора створа.

В общем случае объем исследований по каждому варианту створа может быть ограничен:

а) площадной электроразведкой (ВЭЗ) на полосе шириной 300—500 м с выходом на склоны долины за пределы проектируемого НПГ;

б) бурением по одной линии поперечного сечения долины пяти-семи скважин глубиной до двух-трех величин проектируемого НПГ в зависимости от мощности и состава покровных отложений, состава и состояния коренных пород. Три-пять скважин размещают в долине на ее разных морфологических элементах и по одной скважине — на склонах долины (на отметке НПГ). При низком и пологом залегании уровня подземных вод в склонах долины бывает целесообразным задать еще по одной скважине в 100—300 м за пределами отметок НПГ;

в) определением фильтрационных свойств коренных и покровных отложений по всем пробуренным скважинам;

г) выявлением мощности, площади распространения в пределах створа слабых грунтов и оценкой их прочности.

Одновременно производится рекогносцировочная разведка и опробование месторождений естественных строительных материалов с учетом расположения вариантов створа. На основе результатов общей площадной инженерно-геологической съемки, разведочных опытных работ по вариантам створа плотины и месторождениям строительных материалов и параллельно выполняемых в начале этого этапа проектных проработок (в части компоновки сооружений и их конструктивных схем), а также технико-экономических расчетов производится сравнение вариантов и окончательный выбор створа плотины. Организационно это выполняется в рабочем порядке (не прерывая работ по изысканиям и проектированию) путем рассмотрения подготовленных материалов сравнения вариантов на научно-техническом совете проектной организации с участием заказчика и других заинтересованных организаций и ведомств.

Следует отметить, что разумная «щедрость» в постановке натурных и камеральных исследований и проектных проработок на начальной стадии этого этапа работ, позволяющая надежно обосновать выбор створа плотины, в дальнейшем всегда окупается и по затратам времени на изыскания и проектирование по выбранному створу, и главное по стоимости строительства на нем плотины и других связанных с ней сооружений.



## 5. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ВЫБРАННОМ СТВОРЕ ПЛОТИНЫ И В ЧАШЕ ВОДОХРАНИЛИЩА

В комплекс инженерно-геологических исследований на выбранном створе плотины в общем случае входят: а) инженерно-геологическая съемка; б) разведочные буровые и горнопроходческие работы (бурение скважин, проходка шурфов, канав, расчисток, шахт, штолень); в) опытно-фильтрационные работы (откачки воды из скважин, нагнетания, наливов воды в скважины, шурфы, гидрокаротаж); г) работы по определению состояния и прочности грунтов основания плотины в натуре (полевыми методами) и в лаборатории по образцам грунтов ненарушенной структуры; д) специальные анализы пород, грунтовых и поверхностных вод (петрографические, минералогические, химические, иногда при необходимости палинологические); е) камеральные работы и ж) экспериментальные и научно-исследовательские работы при необходимости по отдельным вопросам изысканий и проектирования (фильтрации, устойчивости сооружений, фильтрационной прочности грунтов, подтопления территорий, прогнозу качества воды в водохранилище и др.).

### Инженерно-геологическая съемка

Участок выбранного створа плотины входит, как отмечено выше, в общую площадную инженерно-геологическую съемку, выполняемую по всему участку долины, в пределах которого расположены все сравнивавшиеся варианты. Масштабы этой съемки 1 : 25 000, 1 : 50 000, а иногда и 1 : 10 000. Таким образом, общее геологическое строение участка выбранного створа уже достаточно известно. Однако для проектирования на стадии технического проекта, когда должны быть определены взаимное расположение сооружений гидроузла, их конструкции, потребность в строительных материалах, способы организации строительства и строительная стоимость сооружений, сведений об инженерно-геологических условиях участка створа плотины, полученных при общей площадной съемке, недостаточно. По участку выбранного створа плотины инженерно-геологическая съемка должна быть выполнена в крупном масштабе — обычно 1 : 2000, 1 : 1000, а на отдельных участках и 1 : 500. Такая степень детальности инженерно-геологической съемки участка створа плотины диктуется необходимостью выявления конфигурации поверхности коренных пород, местоположения и характера контактов между отдельными их литологическими разностями; степени выветрелости коренных пород, физического состояния и мощности продуктов их выветривания; условий залегания и трещиноватости коренных пород, тектонических нарушений; мощности, генезиса и литологических особенностей покровных отложений; гидрогеологических условий (глубины залегания и характера водоносных горизонтов,

стратиграфической и литологической их приуроченности, режима и связи с рекой); физико-геологических явлений и процессов. Другими словами, предмет детальной инженерно-геологической съемки здесь тот же, что и общей площадной съемки; теми же в основном остаются и методы исследований. Различие состоит лишь в детальности исследований: при инженерно-геологической съемке по выбранному створу для технического проекта геолог должен полностью выяснить геологические и гидрогеологические условия, сведения о которых потребуются при разработке проекта строительства всего комплекса сооружений гидроузла.

Инженерно-геологическая съемка по выбранному створу опирается на визуальные наблюдения с поверхности картируемого участка и главным образом на детальные геофизические, геолого-разведочные, опытные полевые и лабораторные исследования и изучение режима подземных и поверхностных вод.

Границы инженерно-геологической съемки участка выбранного створа плотины определяются исходя из особенностей его геологического строения, размеров (ширины, протяженности) сооружений гидроузла и схемы их компоновки. Общим условием при этом является то, что границы съемки в верхнем и нижнем бьефах должны выйти за створ плотины, а также на склоны долины — за пределы размещения подводящих и отводящих воду сооружений (водослив, водоспуск, башня водоспуска, водозабор и др.). При средних по сложности геологических условиях и обычной ширине (100—150 м) плотины по основанию ширина участка съемки по длине долины может быть ограничена 500 м (по 250 м в стороны от оси плотины), по ширине долины — в зависимости от профиля ее поперечного сечения: при каньонообразном профиле — 100—300 м от верхних бровок незатопляемых склонов; при профиле одностороннего развития — по коренному склону, так же как и по склонам каньонообразной долины, по склону, образованному рядом аккумулятивных террас — 300—500 м в сторону склона от отметки будущего уреза воды в водохранилище (от НПГ); в долинах двустороннего развития с мощным (более 5—10 м) чехлом глинистых отложений на пологих склонах — 200—300 м от отметок НПГ в глубь склонов.

Инженерно-геологическая съемка по выбранному створу должна сопровождаться проходкой расчисток, канав, шурфов на склонах долины в объеме и с шагом, позволяющим в совокупности с естественными обнажениями детально без пропусков с надежной интерполяцией отразить на поперечных и продольных разрезах условия залегания коренных пород (направление простирания и падения слоев, углы падения), их состав и физическое состояние (выветренность, трещиноватость, крепость и др.), а также состав и мощность покровных отложений.

Особое внимание при съемке участка створа плотины должно быть уделено документации трещиноватости коренных пород, общий характер и интенсивность которой выявлены уже при пло-

щадной съемке, но не оценены еще в полной мере как фактор, влияющий на устойчивость сооружений и фильтрацию воды из водохранилища. На выбранном створе плотины изучение трещиноватости пород должно быть строго подчинено утилитарным целям. В связи с этим документацию трещиноватости следует вести по системам трещин применительно к их генезису, используя для этого весь комплекс пунктов наблюдений (обнажения, горные выработки) и фактических материалов (образцы пород, керны).

Напомним, что по генезису выделяют следующие виды трещин [92, 97].

**Трещины отдельности** — возникают в породах в результате диагенеза и связаны с уменьшением объема пород при их высыхании и уплотнении, сильном охлаждении или при перекристаллизации. Этот тип трещиноватости называют также первичной отдельностью.

**Трещины напластования** — возникают по плоскостям наслоения пород, когда слои их неоднородны по составу и структуре и поэтому по-разному реагируют на давление от вышележащих толщ, а также на процессы выветривания.

**Трещины выветривания** — образуются в породах под влиянием процессов физического выветривания, характеризуются небольшой глубиной распространения (до 50 м) и невыдержанностью направления.

**Трещины усыхания** — наблюдаются на поверхности высохших глинистых отложений и распространяются на глубину до 3—5 м.

**Трещины гравитационные** — связаны с нарушением природного равновесия пород, которое может быть вызвано эрозией, суффозией, карстом, оползнями и техногенными факторами.

**Трещины тектонические** — происхождение их связано с возникающими в породах напряжениями при тектонических движениях. При сжатии пород образуются трещины скола, ориентированные под некоторым углом к направлению давления. Стенки этих трещин обычно сглаженные и притертые или «спасенные» новообразованиями (кальцитом и др.), на поверхности стенок нередко наблюдаются следы перемещения пород (плоскости скольжения).

При растяжении, а также и при сжатии пород возникают трещины разрыва, характеризующиеся, как правило, открытостью, извилистостью, неровностью стенок, их бугристостью, шероховатостью и отсутствием следов перемещения. Различают и трещины сжатия, образующиеся при сжатии пород в плоскости, перпендикулярной к направлению сил сдвигания. Этот вид трещин, как и трещины скола, обычно закрытые, с притертыми стенками.

В итоге полевой документации трещин в коренных скальных и полускальных породах должна быть дана количественная оценка

трещиноватости массива этих пород в целом В качестве таких показателей рекомендуются [66]

— модуль трещиноватости — число трещин на 1 м длины плоскости пород, изучаемых (в естественном обнажении или в горной выработке, пройденной без взрывных работ) в направлении, перпендикулярном к плоскости трещин данной системы;

— коэффициент трещинной пустотности, выраженный в процентах: площадной — отношение площади трещин к площади породы и объемный — отношение объема трещинных пустот к объему породы.

По коэффициенту трещинной пустотности в совокупности с характеристикой преобладающего количества трещин того или иного размера породы по степени их относительной трещиноватости рекомендуется [66] классифицировать в соответствии с данными табл. 2.

Таблица 2

Показатели степени трещиноватости пород

Относительная степень трещиноватости пород	Коэффициент трещинной пустотности, %	Характеристика и размер трещин
Слабая	<2	Трещины волосные шириной менее 1 мм и тонкие шириной до 1 мм Наблюдаются единичные мелкие трещины шириной до 2 мм
Средняя	2—5	Тонкие трещины шириной до 1 мм — до 50%, остальные 50% составляют большей частью мелкие трещины шириной от 5 до 20 мм
Сильная	5	Мелкие трещины шириной 2—5 мм до 80—90%, остальные 10—20% составляют крупные трещины шириной 20—100 мм

Следует, однако, особо отметить, что для оценки степени трещиноватости пород как инженерно-геологического фактора приведенных в табл. 2 показателей недостаточно. В этом смысле весьма важным является вопрос об открытости трещин или их заполненности и материале заполнения. Сильная трещиноватость пород с наличием крупных трещин, плотно заполненных продуктами вторичного образования (вторичными минералами, химическими осадками, материалом глубокого выветривания и др.), может оказаться в фильтрационном отношении значительно менее опасной, чем слабая трещиноватость с открытыми трещинами. С другой стороны, крупная трещина, заполненная глинистым материалом, при определенной ее ориентировке может оказаться слабым местом на сдвиг в основании сооружения или при размыве заполнителя проводником сосредоточенной фильтрации.

Таким образом, документация трещиноватости пород должна включать одновременно как количественные (ориентировка, густота и размер трещин), так и качественные (открытость трещин, заполненность их, материал заполнения и его физическое состояние) показатели. Результаты такой всесторонней документации трещиноватости пород на выбранном створе должны использоваться при постановке опытно-фильтрационных работ и интерпретации их данных по определению водопоглощения, фильтрационной устойчивости заполнителя трещин, а также при уточнении мест сопряжения плотины со склонами долины и расположения водоотводных и водозаборных сооружений.

При инженерно-геологической съемке на выбранном створе могут возникнуть затруднения с отражением на разрезах по створу фактического залегания коренных пород в пределах поймы и вышележащих аккумулятивных террас с мощным комплексом обводненных пород. В этом может помочь постановка специальных геофизических исследований — круговых измерений кажущегося электрического сопротивления пород в сочетании с двусторонним дипольным или трехэлектродным электропрофилированием методом сопротивления либо электропрофилированием на постоянном токе по методу двух составляющих [30].

Используя результаты таких исследований в совокупности с данными инженерно-геологической съемки и материалами документации керна (с измерением по керну углов падения слоев пород по всей глубине скважин) и учетом при построении геолого-литологических разрезов мощностей отдельных пластов и свит, можно достаточно достоверно отразить на карте и разрезах геологическую структуру участка долины, в пределах которого непосредственные наблюдения и измерения элементов залегания пород невозможны.

### **Буровые и горнопроходческие разведочные работы**

Для определения объема буровых разведочных работ по выбранному створу плотины (как и по инженерно-геологическим исследованиям на любых других объектах) нельзя дать единых рекомендаций, поскольку объем разведки зависит от ряда природных факторов и технических условий (см. гл. I, раздел 6). Однако в практике изысканий всегда требуется указать в программе и смете инженерно-геологических исследований определенный объем работ. При этом намеченный объем работ должен быть оправданным в техническом и экономическом отношении.

Из опыта работы в области изысканий и проектирования водохранилищных плотин ниже приводятся некоторые рекомендации по определению при изысканиях на выбранном створе плотины числа разведочных скважин, их глубины и шага между ними. Эти рекомендации следует рассматривать как некоторую меру, которой следует придерживаться при составлении программ

и смст на инженерно-геологические исследования по выбранному створу плотины. Они даны применительно к морфологическим типам речных долин в зависимости от геолого-литологического строения и гидрогеологических условий участка створа плотины.

**Долины каньонообразного профиля.** Этот тип долин характеризуется, как отмечено выше, небольшой шириной по дну, отсутствием или весьма малой мощностью аллювия, высокими крутыми склонами. Коренные породы могут быть однородными или разнородными (см. рис. 12, а). В таких долинах при их ширине по дну до 100 м и крутизне склонов  $45^\circ$  и более по оси выбранного створа плотины целесообразно предусмотреть бурение девяти скважин: трех в пределах днища долины, четырех на ее склонах и двух за пределами верхних бровок склонов в сторону водораздела.

Скважины в пределах днища следует располагать: одну в середине днища и по одной в местах его сопряжения со склонами долины. На склонах долины — по одной скважине на отметках проектируемого НПГ и по одной выше верхних бровок склонов на расстоянии по горизонтали не более 50 м от скважин на склоне. Остальные две скважины бурятся в тех случаях, когда по результатам бурения и опробования скважин у верхних бровок склонов выявляются низкое залегание подземных вод (см. рис. 12, а) и высокая водопроницаемость пород. Скважины в этом случае располагают на продолжении оси плотины в стороны водоразделов на расстоянии 200—500 м от скважин у бровок склонов. То или иное расстояние в указанных пределах принимается в зависимости от ожидаемого высотного положения уровня подземных вод на придолинных участках местности: чем ниже ожидаемое залегание зеркала подземных вод, тем больше расстояние.

По линиям в верхнем и нижнем бьефах, параллельным оси плотины, можно ограничиться семью скважинами на каждой линии: по три скважины в пределах днища долины и по две на каждом ее склоне. Скважины располагают так же, как и по оси плотины. При ширине днища долины более 100 м и крутизне склонов менее  $45^\circ$  число скважин может быть увеличено так, чтобы шаг между ними не превышал 50 м. При этом указанное выше условие заложения скважин в местах сопряжения дна долины со склонами и на склонах на отметках НПГ должно быть соблюдено и в данном случае; места заложения скважин между этими участками и за их пределами (в сторону линии водораздела) устанавливаются исходя из гидрогеологических условий склонов долины и того же расстояния между скважинами — не более 50 м. При низком по отношению к проектируемому НПГ залегании зеркала подземных вод в склонах долины, высокой водопроницаемости слагающих их пород и наличии близко расположенных (до 1,5—2 км) соседних долин необходимо планировать бурение скважин на продолжении оси плотины через весь водораздел и в днище

соседней долины Шаг между скважинами здесь может быть 500—1000 м

Если в долинах на участке выбранного створа плотины установлены зоны тектонических нарушений или предполагается их наличие, в программах изысканий следует предусматривать специальные скважины для уточнения характера и масштаба нарушений, состояния и фильтрационных свойств пород в пределах этих зон

Наряду с числом скважин и шагом между ними важными являются глубина их и диаметр В разделе 3 отмечено, что при производстве инженерно-геологических работ для выбора створа плотины глубину разведочных скважин следует принимать в общем случае равной высоте двух-трех проектируемых НПГ По всем этим скважинам проводится опробование пород на фильтрацию по отдельным зонам Следовательно, до начала изысканий по выбранному створу плотины степень водопроницаемости пород по глубине в общих чертах уже известна Учитывая это, глубину скважин при изысканиях на выбранном створе можно намечать более строго, исходя из величины удельного водопоглощения В качестве такой «предельной» величины рекомендуется удельное водопоглощение, не превышающее 0,01—0,05 л/мин Практически это означает, что скважиной должны быть вскрыты полностью толща пород с удельным водопоглощением до 0,01—0,05 л/мин и 5—10 м пород с удельным водопоглощением меньше этой величины

Величина удельного водопоглощения, равная 0,01—0,05 л/мин, предусмотрена ТУ 31—54 в качестве критерия для обоснования проекта цементационных завес в основании плотин и в обход их примыкании Отмечая справедливость критерии [137] этого критерия для указанных целей, мы рекомендуем его для определения глубины, до которой должны быть пробурены скважины на выбранном створе плотины и опробованы по ним породы на фильтрацию в процессе изысканий с целью получения исходных данных для расчета фильтрационных потерь из водохранилища

Рекомендуя этот относительно жесткий критерий, мы исходим из того, что водохранилища для водоснабжения создаются обычно на маловодных реках, где потери воды на фильтрацию по породам с удельным водопоглощением более 0,01—0,05 л/мин могут оказаться существенной статьей общего баланса водохранилища С другой стороны, фильтрационные потери из водохранилища через породы с удельным водопоглощением 0,01 л/мин и меньше даже при напоре 25—30 м и мощности толщи пород с указанной водопроницаемостью 50 м составят не более 1 м<sup>3</sup>/сут на 1 пог м длины плотины Такой расход в общих потерях воды из водохранилища не может иметь существенного значения, и, следовательно, нет необходимости исследовать на фильтрацию породы, лежащие ниже зоны с  $q_{уд} < 0,01—0,05$  л/мин

Долины одностороннего развития поперечного профиля. Долины этого типа в отличие от предыдущего характеризуются дополнительным геологическим фактором — наличием в днище долины и на пологом ее склоне аллювиальных и делювиальных отложений, прикрывающих коренные породы. Кроме того, образование долин одностороннего развития нередко связано с неоднородностью коренных пород по поперечному профилю: крепкие устойчивые против выветривания и размыва, обычно скальные породы образуют крутой склон долины, слабые полускальные и не скальные — пологий. Этот фактор также следует учитывать при постановке буровых разведочных работ. По выбранному створу плотины в таких долинах шаг между выработками для изучения покровных отложений может быть иным по сравнению с шагом между выработками, которые проходят с целью исследований коренных пород. В свою очередь, шаг между выработками и их глубина для изучения коренных пород, слагающих днище долины и ее пологий склон, могут быть иными, чем на крутом склоне.

Так, при залегании горизонтально или наклонно в днище долины и на ее пологом склоне коренных глин или однородных глинистых полускальных пород (алевритов, алевролитов, аргиллитов, сланцев и других с низкими фильтрационными свойствами), что уже известно по материалам изысканий для выбора створа, разведка их может быть ограничена проходкой скважин с шагом 100 м и более и опробованием.

По крутому склону долины, сложенному обычно скальными и в той или иной мере трещиноватыми породами, расположение скважин и шаг между ними следует принимать по тому же принципу, что и на склонах долин каньонообразного профиля. Глубина скважин определяется также по указанному выше критерию ( $q_{уд}$  не более 0,01—0,05 л/мин).

Если на участке створа плотины в долине любого морфологического типа коренные породы неоднородны, залегают наклонно и представлены чередованием пластов и прослоев различного литологического состава, расстояние (шаг) между скважинами следует принимать таким, чтобы между ними не оказалось пропущенных, не исследованных пачек пород или их отдельных пластов и слоев. Для определения этого расстояния необходимо составить предварительный геолого-литологический разрез (профиль) по створу плотины (по линии разведки — оси плотины, поперечникам в верхнем и нижнем бьефах и др.) с отражением на нем глубины залегания поверхности коренных пород и угла их падения (без показа литологии, поскольку детали ее еще неизвестны). По такому профилю путем элементарных графических построений с учетом глубины скважины и угла падения пород легко пайти расстояние до точки заложения следующей (за пробуренной) скважины (рис. 13). Из рисунка видно, что при глубине крайней слева скважины, равной величине  $z$ , шаге между сква-



жинами, равном  $a$ , и угле падения слоев пород  $45^\circ$  зона пропущенных пород окажется равной величине  $x$ . Исключение этого пропуска возможно путем бурения средней (показанной на рисунке) скважины или углубления крайней слева скважины до точки  $A$ . Однако в последнем случае расстояние  $a$  между скважинами при большой их глубине может оказаться очень большим, например таким, как расстояние  $b$  (между крайней справа скважиной и точкой  $D$ ), в которой следовало бы, соблюдая указанный выше принцип исключения неполного вскрытия пород по профилю, заложить

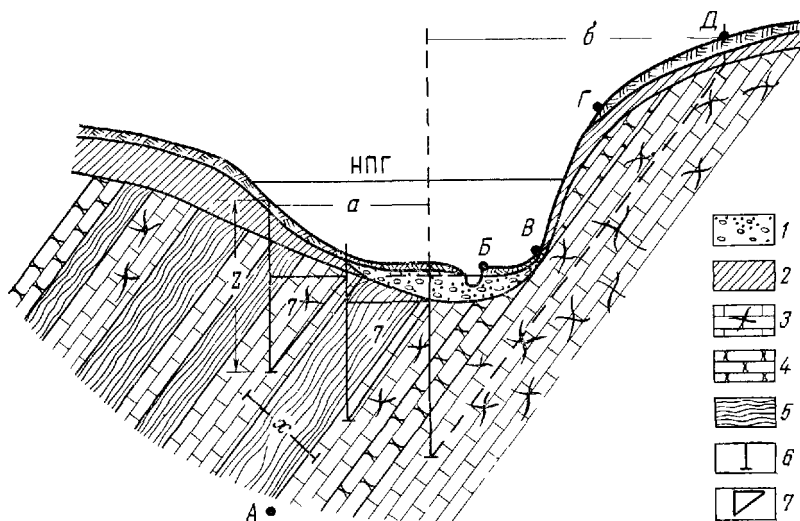


Рис. 13 Схема к определению шага между разведочными скважинами на створе плотины при наклонном залегании коренных разнородных пород.

1 — песчано-гравийные отложения, 2 — суглинки, 3 — известняки, 4 — песчанники; 5 — сланцы, 6 — разведочные скважины, 7 — графические построения для определения расстояния между скважинами

следующую скважину. В действительности между крайней справа скважиной и точкой  $D$  необходимо заложить еще не менее трех скважин, например в точках  $B$ ,  $В$ ,  $Г$ .

При более пологом залегании пород и той же глубине скважин расстояние  $b$  будет еще большим, и, наоборот, при более крутом залегании пород или при меньшей глубине скважин оно станет меньше. Когда породы поставлены на голову, это расстояние равно нулю.

Найденный указанным графическим построением шаг между скважинами должен корректироваться до рекомендуемого (50 м): уменьшаться до 50 м, когда он превышает эту величину при пологом залегании пород или при глубоких скважинах, и увеличиваться до 50 м при крутом залегании пород или при мелких скважинах. В последнем случае не всегда окажется возможным вскрыть разрез без пропусков. Тогда литология пород по пропущенным

зонам должна быть выявлена методами геофизической разведки. Если при этом между соседними скважинами будут обнаружены аномалии, их природу следует выявлять бурением дополнительных скважин в местах аномалий.

В долинах одностороннего развития поперечного профиля наибольший напор на плотине образуется в зоне сопряжения днища долины с ее крутым коренным склоном. Вместе с тем эта зона нередко бывает наиболее слабым местом из-за недостаточной сохранности коренных пород, наличия над аллювием глыбового материала и др. Поэтому на таких участках шаг между скважинами может быть уменьшен до 20—30 м (рис. 14). В случаях, когда верхняя часть горизонтально залегающих коренных пород с мощностью менее проектируемого НПГ и с относительно низкой водопроницаемостью (до 5 м/сут) покрывается высоководопроницаемым аллювием и подстилается породами также с большими коэффициентами фильтрации, расстояние между скважинами может быть принято примерно одинаковым, а их глубина должна определяться из условий необходимости изучения нижней высоководопроницаемой толщ коренных пород (рис. 15).

В долинах, заложенных в мощных, практически нефилтрующих или слабопроницаемых толщах глин или глинистых однородных пород, задача разведки и связанное с ней определение глубины скважин и расстояний между ними упрощаются. Здесь важно выявить характер поверхности коренных пород (наличие или отсутствие отдельных переуглубленных участков в пределах долины). Это может быть осуществлено методами геофизической разведки; расстояния между разведочными скважинами на коренные породы может быть принято равным 100—150 м, а глубина скважин — из расчета их заглубления в коренные породы на 5—10 м.

**Долины двустороннего развития профиля.** Приведенные выше рекомендации в отношении глубины скважин и шага между ними в долинах одностороннего развития в равной мере относятся и к долинам двустороннего развития. Специфическим здесь является наличие, как правило, ряда террас, в местах сочленения которых необходимо предусматривать заложение скважин.

Общим при определении объема буровых работ по створу плотины в долинах любого из перечисленных морфологических типов является сгущение горных выработок в зонах карста, тектонических нарушений и повышенной трещиноватости пород.

В отдельных случаях, связанных с перечисленными явлениями, шаг между скважинами приходится уменьшать до величины меньше 10 м (рис. 16).

Выше было отмечено, что в долинах одностороннего развития шаг между скважинами для изучения покровных отложений может отличаться от шага между скважинами на коренные породы. Это положение еще в большей мере относится к долинам двусто-

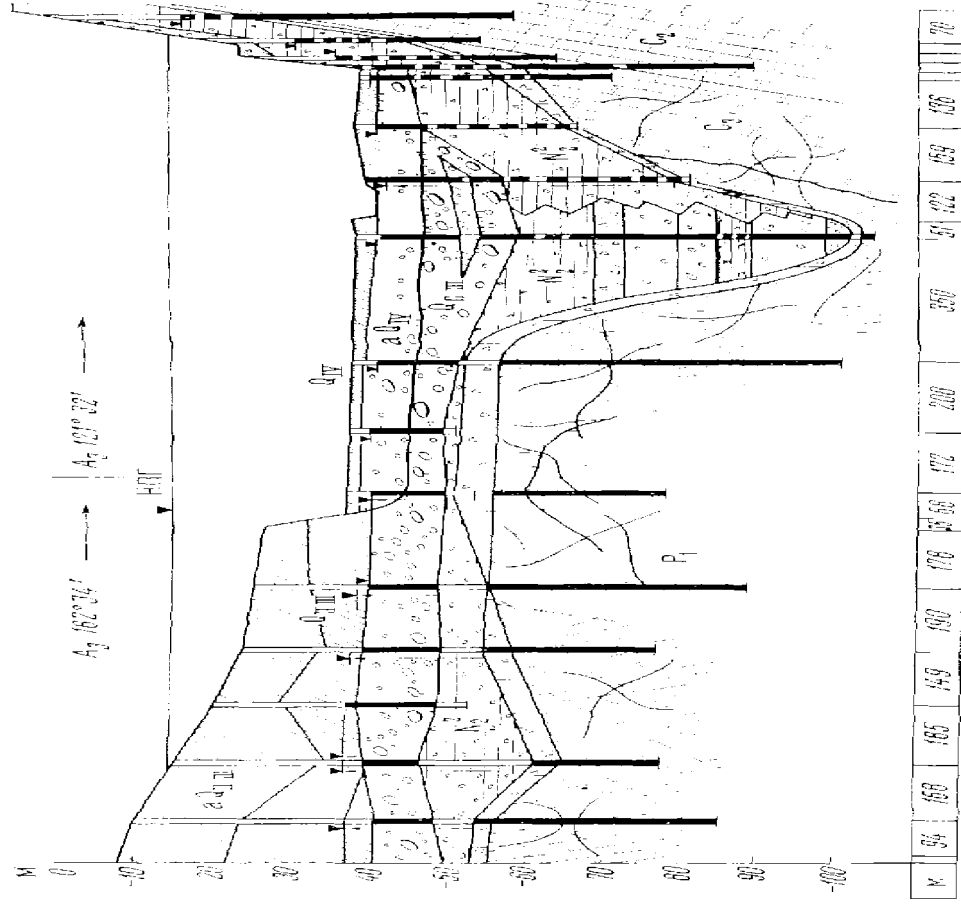


Рис. 14 Геологический разрез по селу Хуцзюй

1 —  $\phi_1$  — суглина с илом 2 —  $\phi_2$  — суглина с илом 3 —  $\phi_3$  — суглина с илом 4 —  $\phi_4$  — суглина с илом 5 —  $\phi_5$  — суглина с илом 6 —  $\phi_6$  — суглина с илом 7 —  $\phi_7$  — суглина с илом 8 —  $\phi_8$  — суглина с илом 9 —  $\phi_9$  — суглина с илом 10 —  $\phi_{10}$  — суглина с илом 11 —  $\phi_{11}$  — суглина с илом 12 —  $\phi_{12}$  — суглина с илом 13 —  $\phi_{13}$  — суглина с илом 14 —  $\phi_{14}$  — суглина с илом 15 —  $\phi_{15}$  — суглина с илом 16 —  $\phi_{16}$  — суглина с илом 17 —  $\phi_{17}$  — суглина с илом



ронного развития с мощной, как правило, толщей покровных отложений и пестрым их литологическим составом.

При планировании разведочных работ для изучения на выбранном створе плотины покровных отложений следует исходить из необходимости выявления их мощности, состава и физического состояния для постановки специальных исследований по оценке этих отложений как грунтов основания плотины и как фильтрационной среды. При этом в зависимости от мощности покровных отложений, литологии и водопроницаемости подстилающих покров коренных отложений объем и целенаправленность исследований могут быть разными.

Так, при мощности аллювия в днище долины до 10 м, высокой его водопроницаемости и низких, практически несущественных значениях этого показателя для коренных пород можно по имеющимся материалам изысканий еще на стадии выбора створа плотины и последующих проектных проработок при составлении задания на исследование по выбранному створу обосновать целесообразность сопряжения тела плотины с коренными породами с помощью зуба, «стены в грунте» или шпунта. В этом случае нет необходимости в детальном исследовании фильтрационных свойств покровных аллювиальных отложений. Более важным становится изучение зоны контакта аллювия и коренных пород. В подошве аллювия могут залегать крупные валуны, а в поверхностной части коренных пород — элювий. Выявление того и другого имеет большое значение для определения нижней отметки сопрягаемого устройства плотины с коренными породами и для разработки проекта производства строительных работ. Особенно важно выявить физическое состояние и мощность элювия, который при глибовом его составе должен быть закреплен под основанием сопрягающего устройства или перекрыт этим устройством или, наконец, служить средой, в которую может быть введено основание сопрягающего устройства, если элювий представлен продуктами полностью выветрившихся коренных пород — глиной, суглинком, сусью.

Важно также детально разведать участки сочленения и взаимопроникивания аллювия и делювия в местах сопряжения склонов долины с ее днищем, а также участки контактов разных по времени образования аллювиальных отложений в местах сочленения террас. Когда такие же (небольшой мощности — до 10 м и сильно водопроницаемые) аллювиальные отложения подстилаются коренными породами, обладающими также высокой водопроницаемостью, перекрытие аллювия любым из указанных выше устройств особого эффекта в снижении фильтрационных потерь не дает и как противofильтрационное мероприятие не оправдывает себя [9]. В таких случаях в качестве противofильтрационных устройств более целесообразно применять понуры. Для расчета толщины и длины понура необходимы надежные данные о водопроницаемости всей толщии пород от поверхности долины до прак-

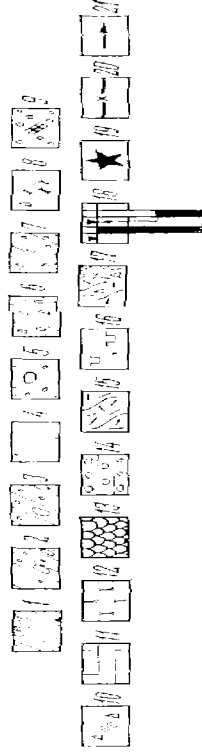
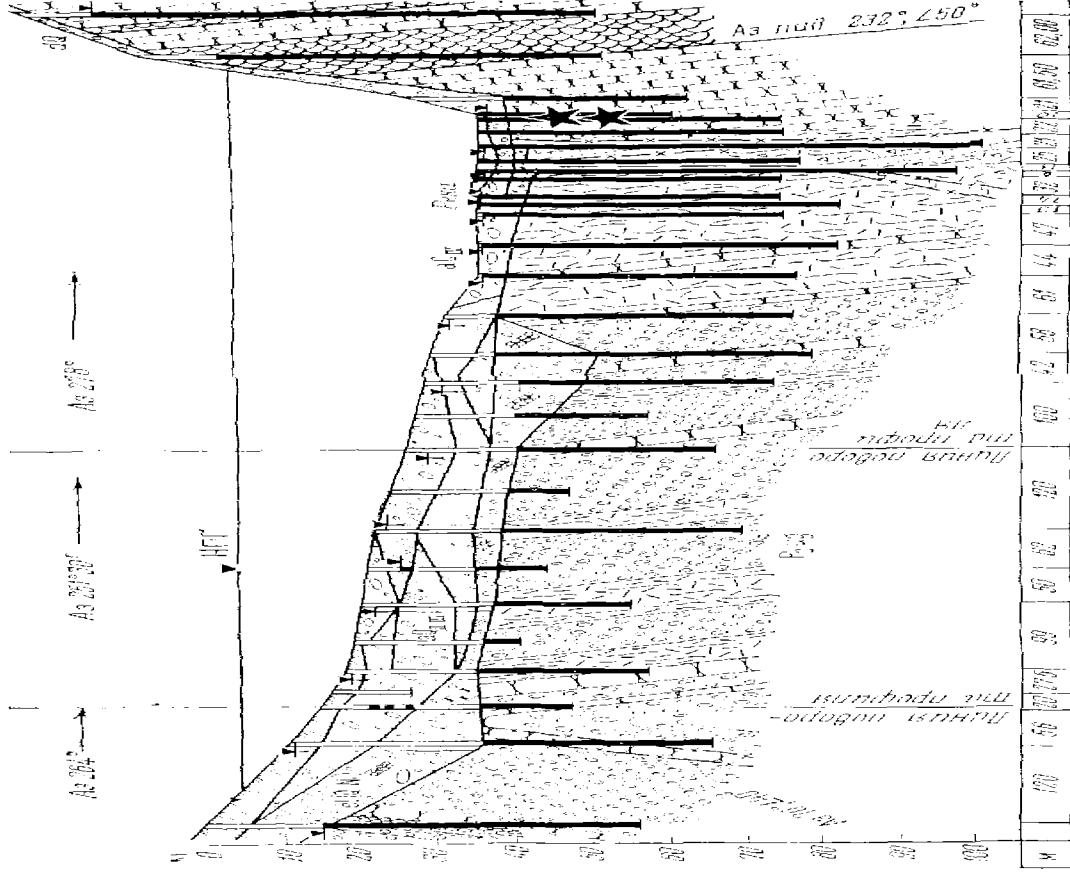


Рис 16. Геолого-литологический разрез по оси п лотины; в основании плотины — тектоническое нарушение и карст.

1—5 — аQ<sub>1</sub>—IV — отложения поймы и надпойменных террас 1 — суглинки, 2 — суглинки с гравием и валунами, 3 — галька, гравий, валуны с суглинком, 4 — галька, гравий, валуны с супесью, 5 — галька, гравий, валуны с супесью пород с суглинком, 6—7 — дQ, 6 — суглинки со щебнем, 7 — щебень, дресва, камни и глыбы скальных пород с суглинком, 8—10 — е (Q—N), 8 — песчанники выветрелые до состояния щебня и суглинка, 9 — конгломераты выветрелые до состояния отдельных гальек, суглеси и суглинка, 10 — туфы выветрелые до состояния отдельных глыб, щебня, дресвы и суглинка, 11—15 — P<sub>2</sub>, 11 — известняки, 12 — песчанники, 13 — гранелиты, 14 — конгломераты, 15 — туфы кварцевых порфиров, 16 — Cг<sub>2</sub> — порфириты, 17 — раздробленные породы, 18 — уровень воды на день бурения, 19 — карст, 20 — зона тектонических нарушений, 21 — направление линии разреза

тического водоупора на той или иной глубине в коренных отложениях. Очевидно, что в таких случаях исследование покровных отложений становится важной задачей инженерно-геологических и гидро-геологических изысканий на выбранном створе плотины. Еще большее значение приобретает эта задача при значительной мощности покровных отложений.

Детальное исследование покровных отложений должно проводиться в этих случаях в отличие от указанных выше, независимо от степени водопроницаемости коренных пород. Последнее связано с тем, что при большой мощности покровных отложений возможность сопряжения тела плотины с коренными породами (как бы заманчиво это ни было, когда коренные породы являются водоупором) не реальна, и потери воды из водохранилища на фильтрацию практически полностью определяются водопропускной способностью покровных отложений.

Покровные отложения в долинах одностороннего и двустороннего развития служат как основания плотины практически во всех случаях, поскольку при подготовке основания с этих отложений снимается обычно лишь почвенно-растительный покров. Вопрос лишь в том, хорошим или плохим основанием являются покровные отложения в каждом конкретном случае и при каких условиях они могут надежно выполнять эту роль. Ответ на этот вопрос должен быть получен в результате разведки и последующего опробования покровных отложений.

В соответствии с изложенным бурение скважин для выявления мощности, состава и физического состояния аллювиальных отложений следует предусматривать в русле реки, на ее пойме, террасах, в местах прилегания одних террас к другим и террас к коренным склонам. Шаг между скважинами — не более 50 м; шаг менее 50 м — в местах резкого изменения мощности, перехода одних литологических разностей в другие, на участках развития старичных фаций, илов, торфа и др. Скважины следует бурить с углублением на 2—3 м в коренные породы.

На коренных склонах долин, где в зависимости от состава коренных пород, характера их выветривания, крутизны склона, условий сноса и накопления осадков могут быть различного рода образования — от тяжелых суглинков до осыпей крупнообломочного магериала, разведку на глубину

до вскрытия коренных пород следует вести шурфами, канавами, расчистками, используя для этого соответствующее горнопроходческое оборудование. Учитывая необходимость надежной оценки характера и размера обходной фильтрации, а также условий возможного возникновения оползней в нижнем бьефе, шаг между горными выработками здесь может быть коротким — 10—30 м.

В случаях, когда плотина сопрягается не с коренными склонами, а с древними террасами, что нередко может быть в долинах одностороннего и еще чаще двустороннего развития, покровные отложения на участке сопряжения в пределах террасы должны быть разведаны так же детально, как и на коренном склоне (см. рис. 15).

Разведочные работы в чаше водохранилища должны быть подчинены задаче получения необходимых данных для определения временных и постоянных потерь воды на фильтрацию, степени возможной переработки склонов долины и условий подготовки ложа водохранилища. С этой целью в чаше водохранилища проводятся буровые и горнопроходческие работы обычно по отдельным поперечникам через 1—3 км и участкам в местах, характерных по морфологическим, геолого-литологическим и физико-геологическим особенностям. В днище долины бурением скважин выявляются мощность и состав покровных отложений, состав коренных пород, подстилающих покров, характер залегания уровня подземных вод, мощность зоны аэрации грунтов. На склонах долины шурфованием и проходкой траншей и канав выявляются состав и мощность делювиальных и элювиальных образований, а бурением скважин — состав, характер трещиноватости коренных пород, уровни залегания подземных вод и их гидравлический тип. По днищу долины следует предусматривать не менее одной-двух скважин на каждый морфологический элемент (террасу, пойму, русло), а по склонам долины — не менее чем по одной скважине у подошвы склонов и по две на склонах (по одной на отметках НПГ и по одной выше его). При низком по отношению к проектируемому НПГ залегании уровня подземных вод на склонах долины и наличии близко расположенных соседних долин, в которые возможна утечка воды из водохранилища, разведку следует продлить бурением скважин через весь водораздел до реки (тальвега) соседней долины.

При наличии тектонических нарушений, поперечных или косых по отношению к протяженности участка долины, исследуемого под водохранилище, поперечники разведочных выработок следует приурочивать к линиям этих нарушений, а сами тектонические нарушения должны быть прослежены бурением в глубь склонов. Это особенно важно, когда такие нарушения переходят в соседние близлежащие долины оврагов, балок или рек.

В долинах с непостоянным поверхностным стоком или с «повешенным» водотоком объем разведок в чаше водохранилища



может быть увеличен против указанного выше и расширен по составу, в частности, за счет геофизических исследований для выявления площадей или отдельных очагов возможной постоянной донной фильтрации воды из водохранилища (см. раздел 6).

Бурение скважин в покровных отложениях как по створу плотины, так и в чаше водохранилища следует вести ударно-канатным способом. Конечный диаметр скважин, предназначенных только для разведки покровных отложений, не должен быть меньше 127 мм. Это диктуется как технологией способа бурения, так и необходимостью отбора проб грунтов для документации разреза и для лабораторных исследований. Скважины, предназначенные одновременно для разведки покровных и коренных пород, бурятся по покровным отложениям также ударно-канатным способом. При этом забой скважины должен быть выведен ниже элювия коренных пород в собственно коренные породы (еще сильно трещиноватые и также ослабленные процессами выветривания, но представленные уже не отдельными обломками с продуктами нацело выветрившихся пород — глиной, суглинком, супесью, а в виде «разборной скалы» или плотных пород, сохранивших структуру и облик, если это полускальные породы).

Покровные отложения, в том числе и элювий, должны быть надежно изолированы от коренных пород обсадными трубами путем их погружения в цементную ванну, создаваемую в скважине по ее высоте в интервале от 1 м выше подошвы покровных отложений до 1 м (не менее) ниже поверхности коренных пород или обычным способом затрубной цементации. Конечный диаметр скважин, проходимых вначале ударно-канатным способом с дальнейшим их углублением колонковым способом, должен быть не менее 168—146 мм с тем, чтобы конечный диаметр их в коренных породах был не менее 86—76 мм. Последнее относится ко всем скважинам в коренных породах, независимо от того, каким способом начинается их бурение — ударным по наносам с последующим углублением колонковым способом по коренным породам или сразу колонковым, когда коренные породы залегают под почвенным покровом или непосредственно с поверхности земли.

При бурении скважин по коренным породам для промывки забоя используется чистая вода. С этой целью должен быть устроен ряд последовательно соединенных лотков и отстойников для осветления промывочной воды, поступающей из скважин. Бурение по ослабленным размываемым скальным и полускальным породам, а также по прослоям связных и рыхлых пород из скальных следует вести без промывки с подливом воды в «сухих» породах или с применением внутрициркуляционной промывки (способа бурения с шариком) — в водоносных.

Для бурения скважин по створу плотины на склонах в долинах каньонообразного профиля, а также на очень крутых участках склонов в долинах одностороннего и двустороннего развития следует использовать стационарные станки типа ЗИФ-300М,

которые могут быть разобраны на отдельные узлы для их подъема на место заложения скважины и вновь собраны там. Можно применять и обычные самоходные буровые установки колонкового бурения типа УГБ и СБУ, с установкой их на точке (на заранее подготовленную площадку-полку) с помощью вертолета

### **Опытно-фильтрационные работы**

Опытно-фильтрационные работы имеют целью выявление уровня режима подземных вод в увязке с режимом поверхностных и степени водопроницаемости пород на площади гидроузла и чаши водохранилища для решения при проектировании следующих задач:

- определения возможных потерь воды из водохранилища на фильтрацию в основные плотины, в обход ее примыканий к склонам долины и в соседние долины, когда для этого имеются предпосылки, а также на насыщение «сухих» грунтов дна и склонов водохранилища;

- оценки фильтрационной устойчивости (механической и химической суффозии) грунтов (пород) основания плотины и материала, заполняющего трещины в скальных породах;

- определения при необходимости противофильтрационных устройств, выбора и технико-экономического обоснования их типа;

- определения величины подпора подземных вод водохранилищем, ширины зон подтопления прилегающих к нему территорий и обоснования проекта защитных мероприятий;

- расчета консолидации грунтов основания сооружений;

- расчета притока воды в строительные котлованы для составления проекта водоотлива (водопонижения).

Выявление характера режима подземных вод пкровных и коренных отложений осуществляется наблюдениями по сети скважин и постов на реках и источниках (родниках). В сеть пунктов наблюдений в начале изысканий по выбранному створу плотины и чаще водохранилища включаются скважины из общего их числа, намеченного по программе изысканий. Режим подземных вод должен быть выявлен по каждому горизонту, установленному наблюдениями при бурении.

Водопроницаемость пород определяется полевыми методами — опытными откачками воды из скважин, наливками и нагнетаниями воды в скважины, наливками воды в шурфы и лабораторными методами — фильтрацией воды через образец грунта природного или нарушенного сложения, помещенного в соответствующий прибор. Выбор метода опробования пород на фильтрацию зависит от состава пород и степени их обводненности. Обводненные обломочные, скальные и полускальные породы следует опробовать откачками. Эти же породы на участках напорных гидротехнических сооружений рекомендуется опробовать и откачками, и нагнетаниями: связные или тонкообломочные слабопроницаемые породы — наливом воды в скважины, шурфы, откачками методом «тяжелой жид-

кости»; безводные связные и обломочные породы — наливками воды в скважины, шурфы; безводные скальные и полускальные породы — наливками, нагнетанием.

Из полевых методов определения коэффициентов водопроницаемости пород наиболее надежным (позволяющим получить достоверные данные) является метод опытных откачек. При полевых опытно-фильтрационных работах особое внимание следует уделять составлению по каждому опыту расчетных фильтрационных схем. Четко составленная расчетная схема обеспечивает целенаправленность постановки опыта, контроль в процессе его проведения и правильный подбор расчетных формул для обработки результатов. Расчетная схема фильтрации представляет собой разрез выработки (скважины, шурфа при опыте по одиночной выработке), или разрезы по лучам (через центральную — опытную и наблюдательные выработки при опыте по кусту выработок) с отражением на них литологии пород, мощности их слоев, контактов между ними; мощности водоносного пласта, глубины залегания подошвы верхнего и кровли нижнего водоупоров, высотного положения статического (пьезометрического) уровня воды; конструкции, диаметра и длины рабочей части фильтра или опробуемого бесфильтрового участка выработки; расположения рабочей части фильтра в водоносном пласте или участка пород, опробуемых по выработке в безводном пласте; глубины закрепления выработки трубами; места установки тампонирующего устройства (при опытах по нагнетанию воды); расстояний центральных опытных и наблюдательных выработок от гидрогеологических границ пласта (водотоков, водоемов, боковых водонепроницаемых пластов пород и др.). Такие схемы следует составлять перед каждым опытом, исходя из природных условий, в которых будет проходить опыт, и учитывая имеющееся оборудование для опыта, возможную его продолжительность, режим опыта по условиям фильтрации (установившийся, не установившийся) и метод обработки результатов опыта для расчета коэффициента фильтрации и других гидрогеологических параметров водоносного пласта.

**Опытные откачки.** При изысканиях на участках створа плотины откачки приходится вести из горных выработок на различных геоморфологических элементах: поймах, террасах, склонах долины.

На поймах и террасах при мощности аллювиальных отложений до 15 м опытные откачки для определения коэффициентов фильтрации пород целесообразно вести из совершенных скважин; при мощности более 15 м и однородном составе отложений они могут выполняться из несовершенных скважин по вскрытию пласта. При слоистом сложении аллювия опытные откачки из одиночных скважин следует проводить послойно, а кустовые — по специальной методике в части расположения и глубины центральной и наблюдательных скважин [69].

Опытные откачки из коренных однородных пород при глубоком залегании водоупора проводятся обычно из одиночных скважин

по зонам; при неоднородном (слоистом) строении толщи опробование ведется послойно.

Фильтрационные расчетные схемы для определения водопроницаемости пород опытными откачками в гидрогеологических условиях, с которыми чаще всего приходится встречаться при изысканиях, приводятся в многочисленных работах [5, 18, 20, 28, 32, 40, 69, 75, 103 и др.]. Там же даны формулы расчета коэффициентов фильтрации, проводимости и проницаемости (уровнепроводности) по результатам откачек, выполненным по этим схемам.

В формулах наряду с другими особенностями расчетных схем учитываются и гидрогеологические границы изучаемого водоносного пласта. Однако влияние границ пласта на режим откачки сказывается не сразу, а лишь по истечении некоторого времени от начала откачки, продолжительность которого зависит от проницаемости пласта, интенсивности откачки и расстояния от опытной скважины до границы пласта. Поэтому до тех пор пока время  $t$  от начала откачки меньше времени  $t_r$ , по прошествии которого на откачку начинают влиять границы пласта с постоянным напором (в нашем случае на створе плотина—река), коэффициент фильтрации следует рассчитывать по формулам неустановившегося движения. Это время можно определить приближенно по формуле

$$t < t_r = \frac{\mu L^2}{2kh_{cp}}, \quad (22)$$

где  $\mu$  — коэффициент водоотдачи;

$L$  — расстояние от опытной скважины до границы пласта;

$k$  — коэффициент фильтрации пород водоносного пласта;

$h_{cp}$  — средняя мощность пласта в процессе откачки (ориентировочно равна половине суммы мощностей пласта у опытной скважины и у границы пласта).

В чаще водохранилища опытно-фильтрационные работы следует выполнять в случаях, когда не исключена возможность фильтрации воды из чаши в соседние долины (постоянные потери) и когда потери на насыщение грунтов дна и берегов водохранилища (временные потери) могут быть значительными и могут заметно сказаться на времени наполнения водохранилища (в аридных зонах с глубоким залеганием уровня подземных вод и в долинах с непостоянным поверхностным стоком, в которых время наполнения водохранилищ рассчитывается по объему паводковых вод).

В первом случае опытные откачки для определения коэффициента фильтрации водоносных пород и наливов в «сухие» породы следует проводить по скважинам, задаваемым на поперечниках от подошвы склона долины, в которой создается водохранилище, через весь водораздел по линиям предполагаемой фильтрации (см. раздел 5) до реки (талвега) соседней долины.

Во втором случае откачка (наливы) должны быть проведены по скважинам в днище долины, у подошвы склонов и на склонах

по поперечникам выборочно (не обязательно на каждом поперечнике).

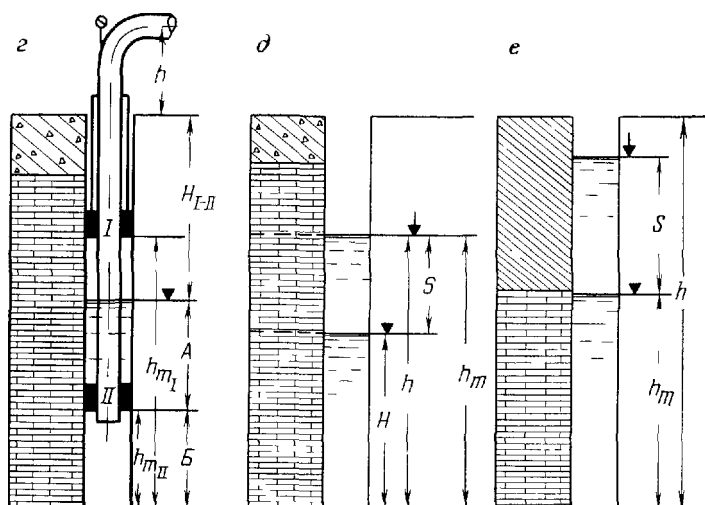
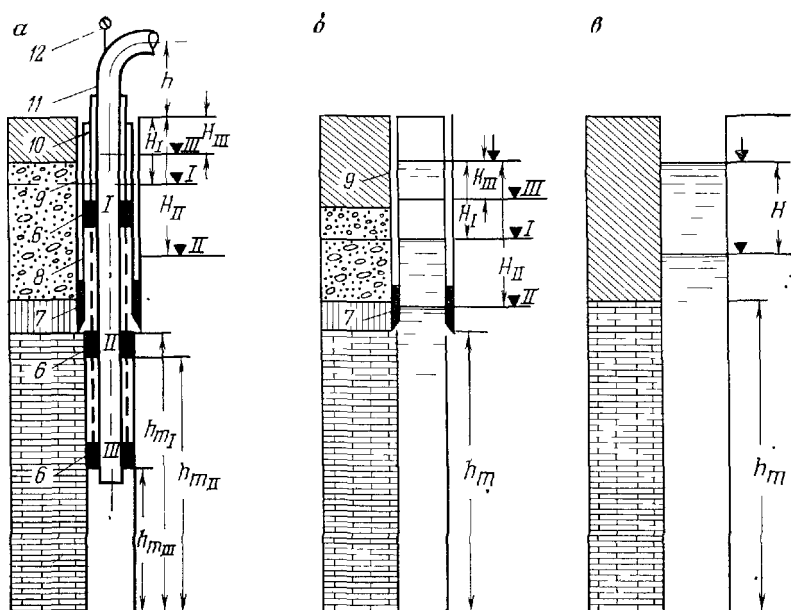
В долинах с постоянным поверхностным стоком и неглубоким залеганием уровня грунтовых вод в определении водопроницаемости и других гидрогеологических параметров отложений, слагающих днище долины (пойму, террасы), в пределах чаши водохранилища практической необходимости нет, поскольку временные потери на насыщение этих грунтов в таких случаях мало скажутся на времени заполнения водохранилища.

Иные условия складываются, если река, пусть даже с постоянным стоком, протекает в глинистых слабопроницаемых отложениях, подстилаемых толщей «сухих» сильнопроницаемых пород или таких же пород, но с уровнем подземных вод в них на большой от дна реки глубине («повешенные» реки). Глинистые покровные отложения на отдельных участках дна долины и на склонах в пределах НПГ могут оказаться маломощными или вовсе отсутствовать, а «сухие» сильнопроницаемые породы выходить на дневную поверхность. В таких случаях будут уже не временные потери на насыщение грунтов, а постоянные потери воды из водохранилища на фильтрацию в дно и склоны в пределах НПГ. Эти потери могут оказаться столь значительными, что не удастся создать водохранилище с необходимым НПГ. Поэтому исследования на площади чаши водохранилища в подобных случаях должны быть проведены особенно тщательно и главное целенаправленно как в части разведки, так и в отношении опробования пород на фильтрацию.

**Опытные нагнетания, наливы воды в скважины.** Опытные нагнетания и наливы воды в скважины широко применяются для изучения водопроницаемости скальных и полускальных водоносных и «сухих» пород, слагающих участки гидротехнических сооружений.

Опытные нагнетания и наливы проводят, как правило, в одиночные скважины. Однако при опытном нагнетании, наливе воды в ту или иную скважину следует всегда использовать для наблюдений скважины, колодцы, родники, расположенные вблизи опытной скважины.

Опробование пород на водопоглощение нагнетанием, наливом воды рекомендуется проводить по всем бурящимся на створе плотины скважинам. Это позволяет получить в известной мере массовый материал, характеризующий относительную фильтрационную способность пород, и выделить в них зоны различной водопроницаемости. В чаще проектируемого водохранилища опытные нагнетания и наливы следует проводить по скважинам в коренные породы лишь на участках возможных постоянных фильтрационных потерь из водохранилища и лишь тогда, когда коэффициент фильтрации пород не может быть определен откачкой (например, «сухих» пород в зоне между отметками проектируемого НПГ и естественного уровня подземных вод в склонах долины).



Нагнетания, наливы рекомендуется проводить по зонам; мощность зон в однородных по трещиноватости породах не более 5 м. Зоны сильно трещиноватых пород мощностью менее 5 м следует опробовать отдельно. Для этого при необходимости могут быть использованы двойные тампоны.

Нагнетания, наливы проводят по методу «сверху вниз» и «снизу вверх». Мы рекомендуем первый метод, при котором исключаются

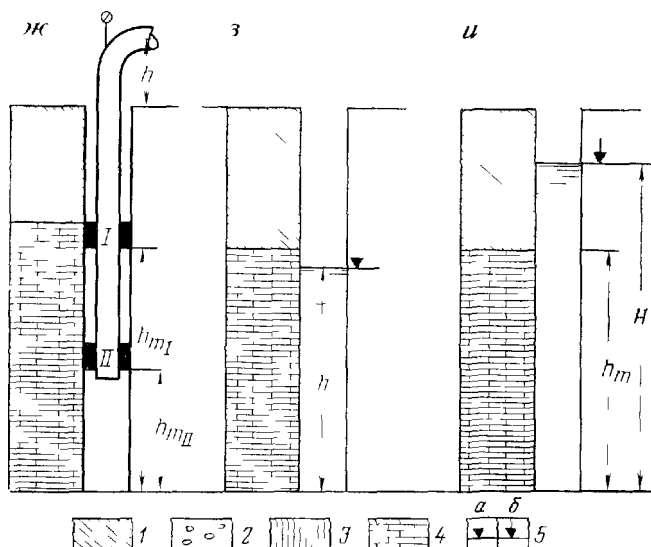


Рис 17 Расчетные схемы опытных нагнетаний и наливов воды в скважины  
 1 — суглинки, 2 — галечники, 3 — глины, 4 — известняки, 5 — уровень воды в сква-  
 жине (а — статический, б — динамический), 6 — тампон, 7 — цемент, 8 — обсадные тру-  
 бы, 9 — стенка скважины, 10 — опорные трубы тампона, 11 — рабочие трубы тампона,  
 12 — манометр, I—III — положение тампона в скважине при опытах,  $H$ ,  $h$  — напоры,  
 действующие при опыте,  $h_m$  — зона опробования пород по скважине

работы по тампонированию скважин в опробованных интервалах и сохраняются скважины для наблюдений по ним в период изы-  
 сканий за уровнями подземных вод и при необходимости для повтор-  
 ных фильтрационных или других видов дополнительных исследо-  
 ваний. Можно пользоваться и двойным тампоном, при котором  
 скважина также может быть сохранена полностью, однако при  
 этом исключается возможность контроля за опытом (работой ниж-  
 него тампона). При опытных нагнетаниях и наливах, так же как  
 и при опытных откачках, важным условием получения достовер-  
 ных данных является предварительное составление расчетных  
 фильтрационных схем. Расчетные схемы вместе с тем благодаря  
 наглядности помогают избежать ошибок, нередко допускаемых  
 изыскателями в отношении истолкования гидравлики опыта,  
 когда к нагнетанию относят опыт, при котором вода нагнетается  
 в скважину, а к наливам — когда вода в скважину наливается,  
 без учета литологического разреза скважины, положения уровня  
 подземных вод и конструкции скважины.

На рис 17 приведен ряд фильтрационных расчетных схем,  
 которые могут применяться при опробовании на фильтрацию ко-  
 ренных пород в типичных геолого-литологических условиях реч-  
 ных долин. По схемам видно, при каких геолого-технических усло-  
 виях по той или иной скважине на пойме, террасе или склоне  
 долины идет опыт по нагнетанию или наливу воды независимо от

способа ее подачи в скважину. Так, на рис. 17, *а* фильтрационная расчетная схема отражает опыт нагнетания воды в водоносный напорный горизонт. При установке тампона в положение I мощность зоны опробуемых пород  $h_{mI}$  равна высоте от забоя скважины до низа башмака обсадных труб 7, посаженных в цементную ванну 6. При тампонах в положениях II и III мощность зон опробуемых пород  $h_{mII}$  и  $h_{mIII}$  равна высоте от забоя скважины до низа тампона соответственно.

Общий напор, при котором проводится в данном случае опыт по нагнетанию воды, равен

$$S = H_i + h + P - \Delta p, \quad (23)$$

где  $H_i$  — высота столба воды в рабочих трубах тампона от статического (в данном случае пьезометрического) уровня воды в скважине до ее устья;

$h$  — высота столба воды в рабочих трубах тампона от устья скважины до шейки манометра;

$P$  — давление, создаваемое нагнетательным насосом и отсчитываемое по манометру;

$\Delta p$  — потери напора на сопротивление движению воды в рабочих трубах тампона

$$\Delta p = \lambda \frac{l v^2}{d 2g}; \quad (24)$$

здесь  $\lambda$  — коэффициент шероховатости внутренней поверхности рабочих труб тампона;

$l$  — длина труб;

$v$  — скорость движения воды в трубах;

$d$  — диаметр труб;

$g$  — ускорение силы тяжести.

Величину  $\Delta p$  в каждом конкретном случае в зависимости от величины диаметра рабочих труб тампона, расхода воды и напора можно определить ориентировочно по таблицам гидравлического расчета труб или экспериментальным путем перед началом опытных нагнетаний.

Схема на рис. 17, *б* также отражает опыт нагнетания воды в скважину, хотя здесь в отличие от схемы на рис. 17, *а* нет ни тампона, ни насоса, создающего дополнительное давление, ни манометра, фиксирующего это давление; вода в скважину подается наливом из полевого водопровода или из емкости. Напор, под которым ведется в данной схеме нагнетание, равен лишь высоте столба воды от статического (пьезометрического) уровня до динамического (до уровня, поддерживаемого наливом воды постоянным на некоторой высоте над статическим горизонтом)

$$S = H_i, \quad (25)$$

Мощность зоны исследуемых пород здесь та же, что и в случае  $h_{mI}$  на рис. 17, *а*.



Такой же по форме «налив» отражает опыт нагнетания воды на рис. 17, *в*, когда исследуемый напорный водоносный горизонт залегает непосредственно под водоупором.

На рис. 17, *г* показана схема нагнетания воды в безнапорный водоносный горизонт. Здесь общий напор и мощность зоны исследуемых пород определяются так же, как и на рис. 17, *а*.

Расчетная фильтрационная схема на рис. 17, *д* отражает опыт классического налива воды в безнапорный водоносный горизонт, а такой же «налив» на рис. 17, *е* с поддержанием динамического уровня воды в скважине выше кровли безнапорного водоносного пласта в водонепроницаемом пласте — опыт нагнетания воды в безнапорный водоносный пласт. Действующий напор здесь

$$S = h - h_m. \quad (26)$$

На рис. 17, *ж*, *з*, *и* показаны расчетные схемы фильтрации при опробовании «сухих» пород. Схема на рис. 17, *ж* — нагнетание в «сухие» коренные породы. Мощность зоны опробуемых пород здесь принимается так же, как и на рис. 17, *а*; действующий напор:

$$S = H + h + P - \Delta p, \quad (27)$$

где  $H$  — столб воды в скважине и трубах тампона от забоя до устья, а остальные обозначения те же, что и в формуле (23).

Схема на рис. 17, *з* отражает налив в «сухие» породы, а на рис. 17, *и* — нагнетание.

Водопроницаемость пород по результатам нагнетания в них воды характеризуется удельным водопоглощением — расходом воды в литрах в минуту на 1 м опробуемой зоны пород по глубине скважины при напоре, равном 1 м (а не расходом на 1 м опробованной зоны, отнесенной к 1 м напора, что верно лишь при линейной зависимости скорости фильтрации от напорного градиента). В связи с этим для определения удельного водопоглощения опыт нагнетания воды в опробуемую зону пород должен быть проведен не менее чем при трех различных ступенях давления (напора) [141]. Последнее позволяет путем построения графика зависимости приведенного расхода от напора

$$Q_0 = f(S) \quad (28)$$

и вспомогательных графиков

$$S_0 = f(Q_0), \quad (29)$$

$$\lg Q_0 = f(\lg S), \quad (30)$$

$$Q_0 = f(\lg S) \quad (31)$$

выявить математический вид этой зависимости (рис. 18).

В формулах (28)—(31)

$$Q_0 = \frac{Q}{h_m}, \quad (32)$$

где  $Q$  — расход воды при нагнетании в опробуемую зону пород, л/мин;

$h_m$  — мощность опробуемой зоны, м;

$S$  — напор, под которым нагнетается вода в опробуемую зону, м.

На графике  $Q_0 = f(S)$  (рис. 18, а) могут получиться кривые трех видов.

1. Кривая, обращенная выпуклостью к оси напоров и свидетельствующая о дефектности проведенного опыта. В этом случае опыт необходимо повторить.

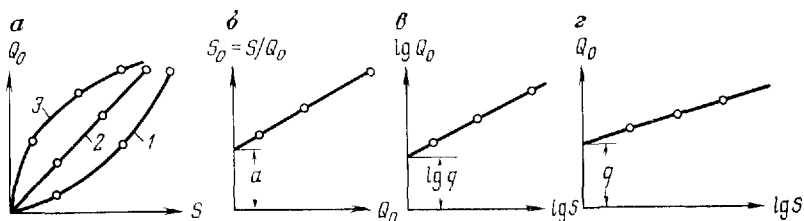


Рис. 18 Графики для определения удельного поглощения воды

2. Прямая линия, характеризующая прямую зависимость приведенного расхода от напора. В этом случае удельное водопоглощение может быть определено по результатам опыта на любой ступени для любых промежуточных значений  $Q_0$  и  $S$  по формуле

$$q = \frac{Q_{0i}}{S_{0i}}. \quad (33)$$

3. Кривая, обращенная выпуклостью к оси приведенного расхода и свидетельствующая о том, что зависимость между  $Q_0$  и  $S$  может быть или параболической или степенной. Для выявления характера этой зависимости необходимо построить упомянутые выше вспомогательные графики. Если на графике  $S_0 = f(Q_0)$  (рис. 18, б) получится строго прямая линия, то  $Q_0 = f(S)$  имеет параболическую зависимость. Тогда удельное водопоглощение может быть определено по формуле

$$q = \frac{\sqrt{a^2 + 4b} - a}{2b}, \quad (34)$$

где  $a$  — значение ординаты точки пересечения прямой с осью  $S_0$  на графике  $S_0 = f(Q_0)$ , а

$$b = \frac{S'_0 - a}{Q'_0}, \quad (35)$$

где  $S'_0$  и  $Q'_0$  — координаты любой точки на прямой того же графика.

Если строгой прямой получена на графике  $\lg Q_0 = f(\lg S)$ , то зависимость между  $Q$  и  $S$  степенная (рис. 18, в). В этом случае  $\lg q$  определяется графически по значению ординаты точки пересечения

прямой с осью  $\lg Q_0$  на графике  $\lg Q_0 = f(\lg S)$ . По  $\lg q$  определяется значение  $q$ .

Контроль применимости этого способа определения следует вести по условию

$$1 < \frac{\lg S'}{\lg Q'_0 - \lg q} \leq 2, \quad (36)$$

где  $\lg S'$  и  $\lg Q'$  — координаты любых точек на прямой.

Наконец, если на графике  $Q_0 = f(\lg S)$  — прямая (рис. 18, *г*), то зависимость между  $Q$  и  $S$  — логарифмическая. В этом случае значение удельного водопоглощения определяется ординатой точки пересечения прямой с осью  $Q_0$ .

По результатам опытных нагнетаний, проведенных при трех различных ступенях напора, можно наряду с величиной удельного водопоглощения определять коэффициент фильтрации по формуле

$$k = 0,525 q \lg \frac{0,66 h_m}{r_0}, \quad (37)$$

где  $q$  — удельное водопоглощение;

$h_m$  — мощность опробованной зоны;

$r_0$  — радиус скважины.

По результатам опытных наливов (см. рис. 17, *д*) коэффициент фильтрации можно определять по формулам:

при совершенной скважине

$$k = 0,732 Q \frac{\lg R - \lg r_0}{h^2 - H^2}, \quad (38)$$

при опробовании верхней части пласта (несовершенная скважина)

$$k = \frac{0,732 Q}{S_0 \left( \frac{h_m + S_0}{\lg \frac{h_m}{r_0}} + \frac{h_m}{\lg \frac{0,66 h_m}{r_0}} \right)}. \quad (39)$$

В формулах (38), (39):  $Q$  — расход воды при наливе;  $R$  — радиус влияния налива или удвоенное расстояние до реки при ее влиянии на налив в скважину у реки;  $r_0$  — радиус скважины. Остальные обозначения показаны на рис. 17, *д*.

Коэффициент фильтрации «сухих» пород по результатам налива определяется по формуле В. М. Насберга

$$k = 0,423 \frac{Q}{h^2} \lg \frac{2h}{r_0}, \quad (40)$$

где  $h$  — высота столба воды в скважине;

$r_0$  — радиус скважины (в скальных, полускальных устойчивых породах) или фильтра.

Формула (40) применима при условиях: расстояние от забоя скважины до подошвы испытываемого пласта (до водоупора) или до статического уровня грунтовых вод должно быть не менее вы-

соты столба воды в скважине  $h$  при опыте; фильтрация должна быть свободной (без подпора) —  $h \leq h_m$  (см. рис. 17, э); отношение  $\frac{h}{r}$  должно быть в пределах от 50 до 200; исследуемые породы в фильтрационном отношении однородны.

**Опытные наливы воды в шурфы** применяются для определения водопроницаемости пород зоны аэрации. С этой целью в подлежащих исследованию грунтах проходят шурф до глубины, на которой намечено провести опыт. В дне шурфа устраивают зумпф, форма и оборудование которого принимаются в зависимости от методики обработки опытных данных и расчетных зависимостей по определению коэффициента фильтрации.

В практике инженерно-геологических изысканий наиболее широкое применение для определения  $k$  при установившейся фильтрации получили методы А. К. Болдырева, Н. С. Нестерова и Н. К. Гириного.

По методу А. К. Болдырева зумпф на дне шурфа имеет прямоугольную форму. Коэффициент фильтрации определяется по формуле

$$k = \frac{Q}{Fi}, \quad (41)$$

где  $Q$  — установившийся расход воды на инфильтрацию в дно зумпфа;

$F$  — площадь зумпфа;

$i$  — градиент напора, под которым идет инфильтрация, равный  $\sim 1$ , поскольку высота слоя воды в зумпфе при опыте поддерживается равной 3—5 см.

По методу Н. С. Нестерова зумпф круглой формы. В дно зумпфа концентрически вдавливаются два цилиндра на глубину 5—6 см, зазор между стенками зумпфа и внешним цилиндром тампонируется глиной. Вода при опыте подается во внутренний цилиндр и в зазор между цилиндрами. Слой воды над дном зумпфа 3—5 см. Таким образом, метод Н. С. Нестерова отличается от метода А. К. Болдырева лишь более точной фиксацией площади инфильтрации. Коэффициент фильтрации при этом может быть подсчитан по формуле (41).

По методу Н. К. Гириного зумпф круглый; в его дно на глубину до 2 см вдавливаются металлический цилиндр-кольцо высотой 15—20 см, диаметром 35—50 см. Образующийся между стенками зумпфа и цилиндра зазор заделывается мятой глиной пластично-тугопластичной консистенции. Слой воды в цилиндре поддерживается также постоянным и той же высоты, что и в опыте по А. К. Болдыреву. Коэффициент фильтрации подсчитывается по формуле

$$k = \frac{Q(d + 2z)}{(5,4H + 1,1d)F}, \quad (42)$$

где  $Q$  — то же, что в формуле (41);

$d$  — внутренний диаметр цилиндра;

$z$  — глубина задавливания цилиндра в дно зумпфа;  
 $H$  — действующий напор,  $H = h_0 + h_{\text{кн}}$ . Здесь  $h_0$  — высота слоя воды в цилиндре,  $h_{\text{кн}}$  — капиллярный напор — капиллярное натяжение, действующее в направлении инфильтрации;  
 $F$  — площадь инфильтрации.

Величина капиллярного натяжения  $h_{\text{кн}}$  составляет от 40 до 60%, в среднем 50% от максимальной высоты капиллярного поднятия и приблизительно может приниматься [29]:

Породы	$h_{\text{кн}}$ , м
Суглинки тяжелые . . . . .	1,00
» легкие . . . . .	0,80
Супеси тяжелые . . . . .	0,60
» легкие . . . . .	0,40
Пески мелкозернистые глинистые . . . . .	0,30
» мелкозернистые . . . . .	0,20
Пески средизернистые . . . . .	0,10
» крупнозернистые . . . . .	0,05

Из методов определения коэффициентов фильтрации, основанных на теории неустановившегося режима фильтрации, известны методы Н. Н. Веригина [40] и Н. Н. Биндемана [29]. По методу Н. Н. Биндемана опыт ведется так же, как и по Н. С. Нестерову, а коэффициент фильтрации по результатам опыта определяется по формуле

$$k = \frac{\beta V}{F t_1}, \quad (43)$$

где  $\beta = f\left(\frac{t}{t_1}\right)$  и может быть определено по графику на рис. 19;

$V$  — объем воды, просочившейся из внутреннего кольца за время опыта;

$F$  — площадь инфильтрации, ограниченная внутренним кольцом;

$t$  — время (продолжительность) опыта;

$t_1$  — время от начала опыта, за которое просочилось 0,5V воды.

Методы определения инфильтрации воды в шурфы с целью расчета коэффициента фильтрации грунтов зоны аэрации применяются при однородных грунтах, мощность слоя (пласта) которых от дна зумпфа шурфа до уровня грунтовых вод или до водоупора либо до поверхности подстилающего эти грунты слоя пород более высоко водопроницаемости больше глубины промачивания исследуемого слоя  $l_i$  за время опыта. В противном случае при залегании водоупора на глубине меньше  $l_i$  значение коэффициента фильтрации может оказаться заниженным, поскольку значение градиента

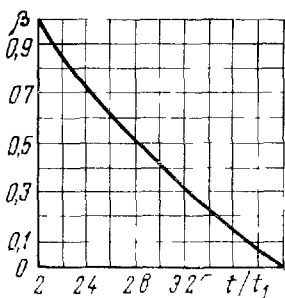


Рис. 19. График  $\beta = f\left(\frac{t}{t_1}\right)$  к формуле (43)

может быть меньше единицы; при глубине залегания слоя пород более высокой водопроницаемости на глубине меньше  $l_f$  градиент может быть более единицы, что приведет к завышению коэффициента фильтрации и, наконец, при глубине уровня грунтовых вод меньше  $l_f$  определить коэффициент фильтрации по результатам опыта невозможно [29]

Опыты ведутся, как отмечено выше, до установившегося расхода воды. В качестве установившегося принимается расход,

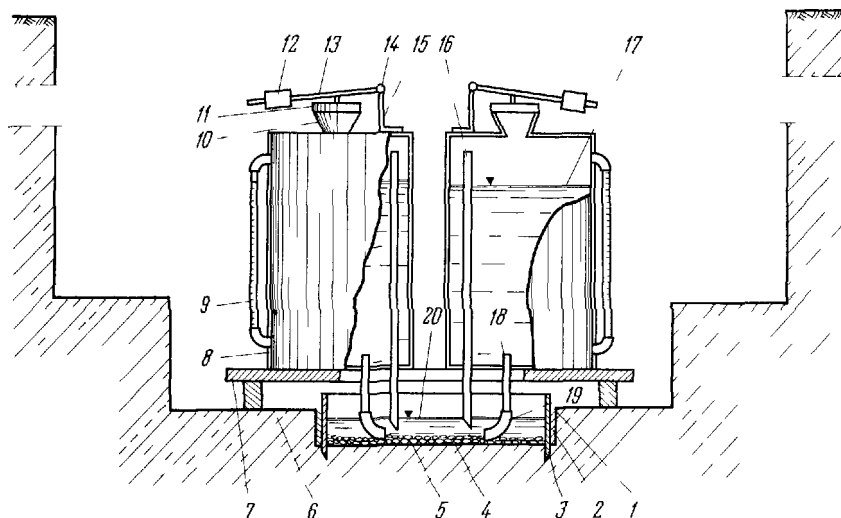


Рис 20 Баки для проведения опытных наливов в шурфы с автоматическим поддержанием постоянной высоты слоя воды в зумпфе

1 — стенка зумпфа, 2 — мягкая глина, 3 — металлическое кольцо, 4 — дно зумпфа, 5 — слой мелкого гравия, 6 — дно шурфа, 7 — стол, 8 — баки, 9 — мерная стеклянная трубка, 10 — горловина бака, 11 — резиновая пробка, 12 — груз, 13 — рычаг, 14 — шарнир, 15 — опорный штырь, 16 — воздушная трубка, 17 — вода в баке, 18 — сливная трубка, 19 — резиновая трубка (шланг), 20 — вода в зумпфе

значение которого по четырем-пяти замерам в течение 2 ч отклоняется от средней величины расхода за это же время не более чем на 10% [29].

При проведении описанных опытов важно соблюдение следующих условий: сохранение ненарушенного естественного состояния грунтов в пределах площади инфильтрации; исключение размыва грунтов на площади инфильтрации наливом воды, для чего эта площадь покрывается слоем в 2—3 см мелкого гравия, а налив воды до постоянной высоты (не более 5 см), при которой должен проходить опыт, осуществлять постепенно, что важно и в отношении постепенного вытеснения воздуха из грунта поверхностной зоны площади инфильтрации, строгое поддержание постоянной высоты слоя воды на площади инфильтрации, что достигается с помощью сосудов Мариотта или баков, показанных на рис. 20;

использование только чистой воды во избежание заиливания поверхности инфильтрации.

Метод А. К. Болдырева рекомендуется для определения коэффициента фильтрации крупнообломочных пород с малой величиной капиллярного поднятия — чистых мелко-, средне- и крупнозернистых песков, гравийно-галечниковых, щебнистых образований и скальных трещиноватых пород (без заполнителя трещин); методы Н. С. Нестерова и Н. Н. Биндемана — для связных пород — тяжелых супесей, суглинков, лёссов и тонкозернистых глинистых песков; метод Н. К. Гириного — для пород, в известной мере промежуточных между рыхлыми и связными, — мелко- и тонкозернистых песков, супесей, легких суглинков.

## **6. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ И ВОДОХРАНИЛИЩНЫХ ПЛОТИН**

В задачу гидрогеологических расчетов для проектирования водохранилищных плотин и создаваемых ими водохранилищ входит определение: постоянных и временных потерь воды из водохранилища, фильтрационного расхода из водохранилища в основание плотины и в обход ее примыканий к береговым склонам долины, давления фильтрационного потока на флютбет, береговые устои и грунты в нижнем бьефе плотины, градиентов и скоростей фильтрации потока для оценки устойчивости грунтов в нижнем бьефе против выпора, суффозии и выноса грунтов — заполнителя трещин в скальных породах основания, а также подпора грунтовых вод на прилегающих к водохранилищу площадях.

### **Постоянные потери**

Под постоянными фильтрационными потерями воды из водохранилища понимается уменьшение подземного питания реки (количества грунтовых вод, поступающих в реку) и увеличение фильтрации из реки (в верхнем бьефе) в соседние долины после создания водохранилища [141]. Постоянные фильтрационные потери могут состоять:

а) только из уменьшения грунтового питания, когда после создания водохранилища поступление грунтовых вод в реку (в водохранилище) происходит при меньших градиентах;

б) только из разности между расходом воды из реки, имевшим место до создания водохранилища (в естественных условиях), и увеличившимся расходом из нее (водохранилища) после создания водохранилища;

в) из суммы грунтового питания реки, имевшегося до создания водохранилища и прекратившегося с его созданием, и возникшего расхода воды из водохранилища.

Тот или иной случай постоянных фильтрационных потерь может иметь место в зависимости от соотношения уровней воды (до создания водохранилища) в реке, на которой создается водохранилище, и в соседней реке (или уровнем тальвега любой соседней долины, оврага, балки), высотного положения водораздела подземных вод между этими реками до создания водохранилища и от высоты НПГ.

Во всех перечисленных случаях постоянные фильтрационные потери, которые в зависимости от их размера могут составить существенную часть водного баланса водохранилища и поэтому должны учитываться, определяются по одним и тем же формулам [141]:

для безнапорных вод

$$q = \frac{kH}{2} \left( \frac{y + h}{L} \pm i \right); \quad (44)$$

для напорных вод

$$q = \frac{kHm}{L}, \quad (45)$$

где  $q$  — фильтрационные потери на единицу длины берега водохранилища;

$k$  — коэффициент фильтрации пород, слагающих склоны долины и водораздельные массивы;

$H$  — превышение НПГ водохранилища над горизонтом воды в реке до создания подпора;

$y$  — высота бытового горизонта воды в реке над водоупором;

$h$  — высота НПГ над водоупором;

$L$  — расстояние от уреза воды в водохранилище до соседней долины, принадлежащей к другому речному бассейну или впадающей в нижний бьеф водохранилища;

$i$  — уклон водоупора между водохранилищем и соседней долиной (знак «плюс» — когда уклон от водохранилища к соседней долине, знак «минус» — когда уклон от соседней долины к водохранилищу);

$m$  — мощность водоносного пласта.

Фильтрационная неоднородность пород на пути  $L$  (когда склоны долины сложены менее водопроницаемыми породами по сравнению с пропачаемостью коренных пород водораздельного массива, что почти всегда наблюдается в природных условиях) может быть учтена в расчетах путем нахождения виртуального значения  $L$  по формуле [141]

$$L = l_1 + \frac{k_1}{k_2} l_2, \quad (46)$$

где  $l_1$  — длина пути фильтрации через породы междуречного массива с  $k_1 > k_2$ ;

$l_2$  — то же, через породы, слагающие склоны долины, в которой проектируется водохранилище, с  $k_2 > k_1$ .



Постоянные фильтрационные потери из водохранилища могут возникнуть и в случае, когда долина сложена с поверхности слабопроницаемыми покровными отложениями, подстилаемыми сильно-водопроницаемыми безводными породами или содержащими водоносный горизонт на большой от уровня реки глубине. Этот вид постоянных потерь может оказаться в отдельных случаях катастрофическим для водохранилища, так как фильтрация может охватывать значительную площадь и идти вертикально при больших градиентах. Расчет этого рода постоянных потерь можно проводить по формулам, приведенным в гл. VI, а также в работах [71, 141, 145].

### Временные потери

Под временными потерями воды из водохранилища понимаются потери на насыщение пород, залегающих под водохранилищем и слагающих его берега. Насыщение однородных грунтов под дном водохранилища даже при слабой их водопроницаемости происходит достаточно быстро — от нескольких часов до нескольких суток. Продолжительность этого времени может быть определена по формуле [141]

$$t = \frac{\mu}{k} \left[ l_0 - 2,3 (h_0 + h_{\text{кн}}) \lg \frac{h_0 + h_{\text{к. н}} + l_0}{h_0 + h_{\text{к. н}}} \right], \quad (47)$$

где  $\mu$  — недостаток насыщения грунтов зоны аэрации,

$$\mu = \frac{\Delta - \gamma_{\text{ск}}}{\Delta} - \omega_e \gamma_{\text{ск}}; \quad (48)$$

здесь  $\Delta$  — плотность грунтов зоны аэрации;

$\gamma_{\text{ск}}$  — объемная масса их скелета;

$\omega_e$  — естественная весовая влажность грунтов зоны аэрации в долях единицы;

$k$  — коэффициент фильтрации грунтов зоны аэрации;

$l_0$  — мощность слоя грунтов зоны аэрации;

$h_0$  — глубина воды в водохранилище;

$h_{\text{кн}}$  — капиллярное натяжение, действующее в направлении инфильтрации.

Общие потери (объем) воды на насыщение грунтов ложа водохранилища за время  $t$  на единицу длины водохранилища равны

$$V_t^n = \mu l_0 B, \quad (49)$$

где  $B$  — ширина водохранилища по зеркалу воды в нем.

Временные потери в случае мгновенного наполнения водохранилища в условиях грунтовых вод с весьма слабым наклоном зеркала (принимается горизонтальным), при однородном пласте и горизонтальном водоупоре определяются по формулам, приведенным, например, в работе [145].

Средний расход на насыщение берегов в период времени  $t$  (в один берег на единицу его длины) определяется по формуле [141]

$$q_{\text{ср}} = \beta H \sqrt{\frac{2\mu k H}{t}}, \quad (50)$$

где  $\beta$  — коэффициент, зависящий от отношения мощности водоносного слоя у реки до создания водохранилища ( $h$ ) к превышению НПГ над горизонтом грунтовых вод на урезе водохранилища, а при отсутствии грунтовых вод — над водоупором ( $H$ ). Ниже даны значения коэффициента  $\beta$  в зависимости от отношения  $\frac{h}{H}$ :

$\frac{h}{H}$	$\beta$
0 . . . . .	0,67
1 . . . . .	1,07
2 . . . . .	1,37
3 . . . . .	1,61
4 . . . . .	1,81
5 . . . . .	2,00

Общий объем потерь за время  $t$  составит:

$$V_t^6 = \beta H \sqrt{2\mu k H t}. \quad (51)$$

Вопросы определения временных потерь воды из водохранилищ в сложных гидрогеологических условиях при различных режимах наполнения водохранилища подробно рассмотрены в работах [141, 145]. В работе [145] освещены, в частности, вопросы фильтрации из наливных водохранилищ, входящих в последнее время в состав водопроводных сооружений из открытых источников.

### Расход воды из водохранилища на фильтрацию

Фильтрационный расход воды из водохранилища под плотинной и в обход ее примыканий к склонам долины может быть определен по общеизвестным формулам, приведенным в ряде работ, например в [25, 71, 99, 141, 145 и др.].

Так, расход под плотинной при плоском ее флютбете на однородных в фильтрационном отношении грунтах можно определить по формуле Н. Н. Павловского

$$q = kHq_{\text{пр}}, \quad (52)$$

где  $q$  — расход на единицу длины плотины;  
 $k$  — коэффициент фильтрации грунтов основания;  
 $q_{\text{пр}}$  — приведенный расход, зависящий от отношения мощности водоносного пласта  $T$  к ширине плотины по основанию  $L$  и определяемый по графику на рис. 21;  
 $H$  — напор на плотине (разность между уровнем воды в водохранилище и нижнем бьефе).

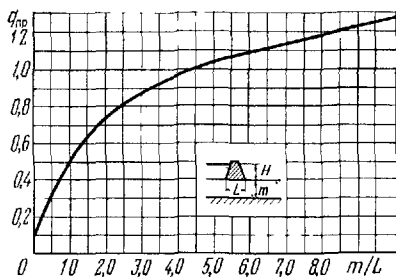
Для тех же условий несколько уменьшенный расход по сравнению с величиной его, определенной по точной формуле Н. Н. Павловского, можно получить по приближенной формуле Г. Н. Каменского

$$q = kH \frac{m}{Lm}. \quad (53)$$

При многослойном строении основания плотины фильтрационный расход можно приближенно определить также по формулам (52) и (53). Для этого действительная мощность толщи грунтов основания, состоящей из ряда слоев различной мощности и различной водопроницаемости, приводится к виртуальной в фильтрационном отношении по формуле [141]

$$M_v = m_0 + \frac{k_n}{k_0} m_n + \frac{k_{n+1}}{k_0} m_{n+1} + \dots + \frac{k_{n+n}}{k_0} m_{n+n},$$

(54) Рис 21 График  $q_{пр}$  к формуле (52)



где

$M_v$  — виртуальная мощность толщи грунтов основания;

$m_0$  — мощность слоя с коэффициентом фильтрации  $k_0$ , по которому толща приводится к виртуальной мощности;

$m_n, m_{n+1}, m_{n+n}$  — мощность слоев с коэффициентами фильтрации соответственно  $k_n, k_{n+1}, k_{n+n}$ .

Найденному значению  $M_v$  присваивается коэффициент фильтрации  $k_0$  и тогда оно может быть использовано в расчетных формулах (52), (53). При этом следует иметь в виду, что поскольку фильтрационный расход на единицу мощности фильтрующей толщи убывает с глубиной, его значение в зависимости от того, по какому слою выполнено приведение к виртуальной мощности, может быть преувеличенным или приуменьшенным.

Если, например, водопроницаемость слоев пород увеличивается с глубиной (что всегда наблюдается в долинах рек на поймах и террасах, сложенных с поверхности связными грунтами, подстилающимися рыхлыми обломочными образованиями), то приведение по верхнему слою занижает, а по нижнему завышает расход. И наоборот, если водопроницаемость слоев уменьшается с глубиной (что может быть встречено в условиях скальных оснований с затухающей по глубине трещиноватостью), то приведение по верхнему слою даст завышенное, а по нижнему заниженное значение фильтрационного расхода под плотной [141].

Расход воды из водохранилища на фильтрацию в обход плотины можно определить по формулам [141]:

в условиях безнапорных вод

$$Q = 0,366kH(h_1 + H_1) \lg \frac{b}{r_0}; \quad (55)$$

в условиях напорных вод

$$Q = 0,732kHm \lg \frac{b}{r_0}, \quad (56)$$

где  $k$  — коэффициент фильтрации пород;

$H$  — действующий напор у плотины;

$h_1$  — мощность водопроницаемой толщи пород от уреза воды в реке до водоупора;

$H_1$  — высота НПГ над водоупором;

$b$  — расстояние от плотины до наиболее удаленной точки берега в верхнем бьефе, из которой по гидрогеологическим условиям возможна фильтрация в нижний бьеф;

$r_0$  — радиус полуокружности, длина которой равна периметру обтекаемого контура примыкания плотины к склону долины;

$m$  — мощность напорного водоносного пласта.

Когда о протяженности в глубь склона зоны обходной фильтрации данных нет, расход потерь можно определить приближенно (с некоторым запасом в сторону завышения) по формулам [141]: для безнапорного потока

$$Q = kH(h_1 + H_1); \quad (57)$$

для напорного потока

$$Q = 2kHm, \quad (58)$$

где обозначения те же, что в формулах (55), (56).

Приведенные выше формулы применимы в простых гидрогеологических условиях: при фильтрационной однородности водоносного пласта, горизонтальном водоупоре, прямолинейности берега водохранилища на значительных расстояниях от плотины в верхний и нижний бьефы. При сложных гидрогеологических условиях, главным образом при многослойном строении фильтрующей толщи пород и фильтрационной ее неоднородности в плане, фильтрационный расход как в основание плотины, так и в обход мест ее примыкания к склонам долины следует определять методами моделирования. Расчеты методами моделирования выполняются для условий без противофильтрационных мероприятий и с учетом различного вида последних. При этом выявляется степень эффективности того или иного противофильтрационного мероприятия. Так, по ряду выполненных нами расчетных моделей [9] оказалось, что применение, например, шпунтового ряда мало эффективно, (хотя он нередко без достаточного обоснования рекомендуется в качестве противофильтрационного мероприятия) для перекрытия в основании плотины слоя сильно фильтрующих аллювиальных

отложений, залегающих на слое коренных скальных водопроницаемых пород мощностью, существенно превышающей мощность слоя аллювия. Более эффективным в таких случаях является понур; это мероприятие дешевле и проще в исполнении.

Если сильно водопроницаемые пласты залегают на водоупоре (или на слабо фильтрующих грунтах), применение шпунта, сопряженного с водоупором, эффективно. В этом случае фильтрационный расход определяется лишь водопроницаемостью шпунта. Поэтому весьма важно при инженерно-геологических исследованиях для гидротехнических сооружений наряду с общепринятыми разведочными и опытными работами уделять особое внимание выявлению в долине реки на поверхности скальных трещиноватых пород под аллювиальными, обычно сильно фильтрующими отложениями слоя элювия, его физического состояния (степени зрелости), условий залегания, литологического состава, мощности, фильтрационных свойств и оценке этого слоя в качестве возможного практического водоупора.

Способы и расчетные формулы по оценке фильтрационной прочности грунтов (выпор, суффозия, контактный выпор) приводятся в работе [70]. Задача по оценке фильтрационной прочности грунтов основания сводится к определению действительных градиентов напора и их сопоставлению с допускаемыми. Величины допускаемых градиентов согласно СНиП II—53—73 приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Допускаемые средние градиенты фильтрационного потока  
в грунтах основания, тела земляных плотин  
и в грунтовых призмах каменно-земляных плотин**

Грунты	Допускаемые градиенты фильтрационного потока в зависимости от класса сооружения			
	I	II	III	IV

**Грунты основания**

Глины плотные	0,90	1,00	1,10	1,20
Суглинки	0,45	0,50	0,55	0,60
Пески крупные	0,36	0,40	0,44	0,48
» средней крупности	0,30	0,33	0,36	0,40
» мелкие	0,23	0,25	0,27	0,30

**Грунты тела земляных плотин и грунтовых  
призм каменно-земляных плотин**

Глины плотные	1,50	1,65	1,80	1,95
Суглинки	1,05	1,15	1,25	1,35
Супеси	0,55	0,65	0,75	0,85
Пески средней крупности	0,70	0,80	0,90	1,00
» мелкие	0,45	0,55	0,65	0,75

Вопросы подпора грунтовых вод в зоне влияния проектируемых водохранилищ рассматриваются во многих работах, в частности в [25, 141, 154], там же приведены методика и формулы гидрогеологических расчетов подпора.

## О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДОЗАБОРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Вопросы методики поисков, разведки и опробования месторождений подземных вод, а также методов оценки их эксплуатационных запасов довольно детально разработаны Н. Г. Малишевским, П. И. Бутовым, А. Н. Семихатовым, К. И. Маковым, Д. И. Щеголевым, Ф. П. Саваренским, М. Е. Альтовским, Г. В. Богомоловым, Г. Н. Каменским, С. К. Абрамовым, А. М. Чалищевым, М. С. Семеновым, Н. Н. Биндеманом, Н. А. Плотниковым, Н. И. Плотниковым, Ф. М. Бочевеком, Н. Н. Веригиным, Б. И. Куделиным, В. Д. Бабушкиным, Л. С. Язвиным и др. и широко освещены в литературе. Вопросы типизации месторождений подземных вод по геолого-гидрогеологическим условиям, определяющим методику разведки и подсчета эксплуатационных запасов, требований к разведке и изученности месторождений, условий отнесения запасов к отдельным категориям и подготовленности запасов подземных вод для проектирования водозаборных сооружений, а также для выделения капитальных вложений на их строительство обстоятельно изложены в составленной «Инструкции по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям пресных вод», утвержденной ГКЗ СССР в 1976 г.

Этой инструкцией и опубликованными монографиями, методическими пособиями и рекомендациями по поискам, разведке и оценке эксплуатационных запасов подземных вод и следует руководствоваться при постановке и проведении гидрогеологических исследований для водоснабжения из подземных источников.

Вместе с тем автор, исходя из личного опыта разведки месторождений подземных вод, оценки их запасов и проектирования водозаборов, считает полезным привести некоторые рекомендации в отношении стадийности (этапности) гидрогеологических исследований отдельных месторождений и метода их разведки на стадии детальной разведки.

Сущность этих рекомендаций направлена на творческое применение инструкции ГКЗ, сокращение (когда это возможно) сроков представления проектно-сметной документации на строительство водозаборов и ускорение ввода их в эксплуатацию.

Автор считает необходимым привести, кроме того, рекомендации по исследованию для собственно инфильтрационных водозаборов, основанные на опыте изысканий, проектирования и экс-

плуатации более трех десятков такого типа водозаборов в различных климатических и гидрологических условиях и недостаточно освещенные в специальной литературе.

## **1. О СТАДИЙНОСТИ И МЕТОДЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА СТАДИИ ДЕТАЛЬНОЙ РАЗВЕДКИ**

В соответствии с геоструктурными и геоморфологическими особенностями области формирования, накопления и существования подземных вод выделяются:

а) подземные воды крупных артезианских бассейнов, приуроченных к впадинам платформенных областей;

б) подземные воды поднятий платформенного типа (валы, купола), расчленяющих крупные артезианские бассейны;

в) подземные воды складчатых областей, включающих горные хребты, межгорные впадины, представляющие собой средние и малые артезианские бассейны, и предгорья, выраженные в форме наклонных равнин и конусов выноса;

г) подземные воды речных долин.

Вместе с тем по условиям залегания и характеру водовмещающих пород подземные воды делят на поровые, содержащиеся в рыхлых покровных отложениях, порово-пластовые — в пластах рыхлых коренных отложений, трещинно-пластовые — в пластах коренных скальных и полускальных пород, трещинные — в магматических и метаморфических породах, а также в тектонических трещинах и зонах тектонических нарушений; трещинно-карстовые — в массивах известняков, доломитов, мела.

В зависимости от геоструктурных и морфологических особенностей области развития месторождений подземных вод, условий их формирования и степени изученности в гидрогеологическом отношении этой области, района, участка размещения проектируемого водозабора гидрогеологические исследования должны выполняться:

— в сложных неизученных районах — с полным соблюдением этапности разведки (поиски, предварительная разведка, детальная разведка), предусмотренной инструкцией ГКЗ СССР по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям пресных вод;

— в сложных изученных районах и не сложных, но не изученных — в два этапа (предварительная разведка, детальная разведка);

— в несложных изученных районах — в один этап (детальная разведка).

В зависимости от этих условий должны варьировать состав и объем исследований от полного их комплекса (геофизические исследования, гидрогеологическая съемка, бурение поисковых, разведочных, разведочно-эксплуатационных скважин, опробова-

ние, длительное опробование водоносного пласта опытными, опытно-эксплуатационными откачками) — в сложных не изученных районах до отдельных видов работ (например, бурения лишь разведочно-эксплуатационных скважин и опробования пласта кратковременными откачками) — в несложных изученных районах.

Так, в крупных артезианских бассейнах, приуроченных к впадинам платформенных областей, характеризующихся, как известно, наличием мощных толщ осадочных пород, выдержанных по составу и практически однородных в гидрогеологическом отношении на площадях в десятки и тысячи квадратных километров и более (Западно-Сибирский) и хорошо изученных (например, Московский и Днепровско-Донецкий) задача гидрогеологических исследований для реальных проектов водозаборов может быть ограничена: сбором материалов по бурению скважин на воду, данных по эксплуатации близлежащих к проектируемому действующих водозаборов, режиму подземных вод и их качеству; выбором участка для размещения проектируемого водозабора; определением (оценкой) степени аналогии выбранного участка с участками действующих водозаборов; составлением совместно с проектировщиком схемы водозабора и рабочей конструкции скважин; согласованием места и схемы размещения водозабора с органами водного, геологического и санитарного надзора и бурением разведочно-эксплуатационных скважин с кратковременным их опробованием главным образом для определения расчетных значений гидрогеологических параметров водоносного пласта.

Если выбранный участок под водозабор приходится на водораздельное плато, скважины могут быть расположены по любой наиболее экономичной в каждом конкретном случае схеме, независимо от направления движения подземного потока \*: в виде линейного ряда или группы (групп) скважин по кольцевым линиям, на круговой или любой другой конфигурации площади в зависимости от местных условий.

По такому принципу разведка подземных вод для строительства водозаборов осуществлялась нами на ряде участков в пределах достаточно изученного артезианского бассейна платформенного типа. Разведка была выполнена в одну стадию путем бурения и опробования разведочно-эксплуатационных скважин по рабочему проекту, разработанному проектной организацией. Эксплуатационные запасы подземных вод утверждены в ТКЗ.

В качестве примера такой одностадийной разведки подземных вод на рис. 22 приведена схема размещения разведочно-эксплуатационных скважин и результаты их опробования для подсчета запасов по одному из участков.

---

\* В крупных артезианских бассейнах, на обширных междуречных массивах, древних речных террасах шириной в десятки километров при значительной удаленности водозабора от границ пласта разница между понижениями уровней воды в скважинах водозабора, расположенного по пологому и нормально к потоку подземных вод, незначительна.



Опытные откачки для определения пьезопроводности и проводимости пласта выполнялись здесь кратковременные с постоянным расходом воды из опытных скважин, частыми и строго одновременными измерениями уровней воды в опытной и в соседних с ней разведочно-эксплуатационных скважинах. По откачке из скв. 3 и темпу снижения уровня воды в скв. 2 были получены следующие исходные данные:  $Q_3 = 1728 \text{ м}^3/\text{сут}$ ,  $t_{120} = 0,125 \text{ сут}$ ,  $S_{120} = 0,19 \text{ м}$ ,  $t_{223} = 2t_{120} = 0,250 \text{ сут}$ ,  $S_{223} = 0,30 \text{ м}$  при расстоянии наблюдательной скважины от опытной  $r = 475 \text{ м}$ .

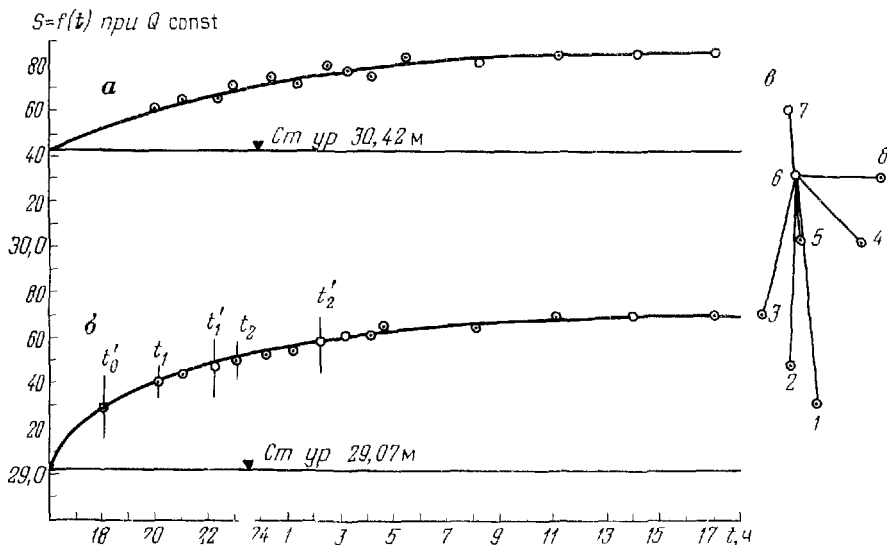


Рис 22 Кривые снижения уровней воды во времени в скв. 1, 2 при откачке из скв. 3.

а — в скв. 1; б — в скв. 2, в — план расположения разведочно-эксплуатационных скважин

Отношение величин снижения напора  $S_{120}$  к  $S_{223}$  в моменты времени  $t_{120}$  и  $t_{223}$  определено по формуле [33]

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{E_i \left( -\frac{r^2}{4at_1} \right)}{F_i \left( -\frac{r^2}{4at_2} \right)}, \quad (59)$$

где  $E_i$  — обозначение интегральной показательной функции;  
 $a$  — коэффициент пьезопроводности.

Заменяя  $\frac{r^2}{4at_1}$  на  $x_1$ ,  $\frac{r^2}{4at_2}$  на  $x_2$  и исходя из условия  $t_2 = 2t_1$ , формулу (59) можно записать так:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{E_i \left( -x_1 \right)}{F_i \left( -\frac{x_1}{2} \right)} = A. \quad (60)$$

По отрезку кривой  $b$  от  $t_0$  до  $t_2$  (см. рис. 22) в интервале  $t_1—t_2$  значение коэффициента пьезопроводности определено по формуле [56]

$$a = \frac{r^2}{4t_1x_1}. \quad (61)$$

Значение  $x_1$  может быть найдено подбором по формуле (60) или по графику на рис. 23 [56].

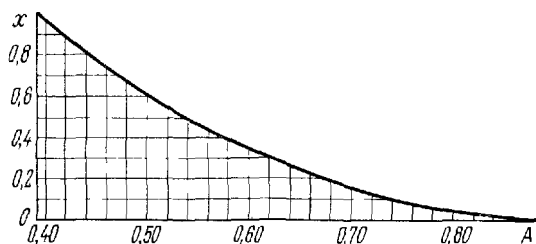


Рис. 23 График  $x = f\left(\frac{S_1}{S_2} = A\right)$  к формуле (60) для  $0,005 \leq \frac{r^2}{4at} \leq 1$

В нашем случае при

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{0,19}{0,30} = A = 0,634$$

значение  $x_1$  (по графику) равно 0,27. Тогда коэффициент пьезопроводности по формуле (61) равен:

$$a = \frac{475^2}{4 \cdot 0,125 \cdot 0,27} = 1,67 \cdot 10^6.$$

Значение проводимости пласта определено по формуле

$$\begin{aligned} km &= \frac{Q}{4\pi S_1} E_i\left(-\frac{r^2}{4at_1}\right) = \\ &= \frac{1728}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,19} E_i\left(\frac{475^2}{4 \cdot 1,67 \cdot 10^6 \cdot 0,125}\right) = 712 \text{ м}^2/\text{сут}. \end{aligned} \quad (62)$$

По отрезку той же кривой в интервале  $t'_1—t'_2$  значение  $km$  составило 802 м<sup>2</sup>/сут. По откачкам из других скважин значение  $km$  составило 680—870 м<sup>2</sup>/сут.

Описываемый участок расположен в районе, где значение  $km$  водоносного пласта, определенное в региональном плане, находится в пределах от 400 до 1000 м<sup>2</sup>/сут. Это позволяет считать данные, полученные по кратковременным опытным откачкам, достаточно достоверными.

В изученных в гидрогеологическом отношении долинах крупных рек, таких, как Енисей в районе Красноярска, Абакан в районе Абакана, а также в крупных артезианских бассейнах, менее изученных, чем Московский и Днепровско-Донецкий, но относительно простых по гидрогеологическим условиям (например, Западно-Сибирский), разведку подземных вод можно с успехом осуществлять в две стадии (в два этапа): стадия предварительной и стадия деталь-

ной разведки с применением на последней бурения и опробования разведочно-эксплуатационных скважин.

Детальную (после предварительной) разведку путем бурения разведочно-эксплуатационных скважин и опробования по ним водоносного пласта одиночными и групповыми откачками целесообразно осуществлять и на конусах выноса. Особенностью последних является наличие в пределах площади их распространения гидрогеологической зональности. Зональность выражена в том, что верхняя часть конуса, тяготеющая к его вершине, сложена крупнообломочным материалом — крупной галькой и валунами с небольшим содержанием гравийно-песчаных фракций. Это область питания подземных вод конуса выноса. Поверхностные воды здесь (воды рек, оросительных каналов, арыков и атмосферных осадков) проникают в толщу крупнообломочных отложений, накладываясь на подрусловый поток, входящий в конус из реки и растекающийся по водоупору, и вместе с ним движутся на больших глубинах вниз по конусу.

Средняя, преобладающая по протяженности часть конуса сложена менее крупным материалом — галечниками и гравием с отдельными валунами и песчаным заполнителем. Это область питания и стока подземных вод конуса выноса. Здесь уровень грунтовых вод постепенно повышается по мере движения вниз по потоку. Нижняя часть конуса выноса, сопрягающаяся обычно с гипсометрически ниже лежащей равниной, сложена более мелким обломочным материалом (мелкой галькой и гравием с песчано-глинистым заполнителем) и содержит прослой и линзы суглинков, сужающих поток подземных вод и придающих ему напорный характер. Это область естественного дренажа и разгрузки подземных вод конуса выноса.

В отличие от классического геоморфологического строения большей части развитых в горноскладчатых областях на территории СССР конусов выноса, сформировавшихся в виде одной генерации с верхней границей у подножия горного сооружения и нижней у низменной равнины и характеризующихся четко выраженной гидрогеологической зональностью, встречаются конусы выноса, представленные несколькими генерациями. К ним относится Маргелано-Бешалышский конус выноса, представленный тремя генерациями (рис. 24): верхней довольно обширной, приуроченной к Куvasай-Ауваль-Чемионской впадине, средней, ограниченной по площади и приуроченной к Ярмазарской впадине, и нижней наиболее обширной генерацией, приуроченной к названной нами заадырной наклонной равнине. Границами верхней генерации являются: верхней южной — северное подножие Алайского хребта, нижней северной — южные склоны Акпиляльской и Толмазарской гряд адыров; средней генерации: верхней южной — северные склоны отмеченных гряд адыров, нижней северной — южные склоны Капчугайской и Кувинской гряд адыров; нижней генерации: верхней южной — северные склоны Капчугайской

и Кувинской гряд адыров, нижней северной — линия сопряжения огложей периферии конуса с аллювиальными отложениями Сырдарьи, проходящая примерно вдоль Большого Ферганского канала.

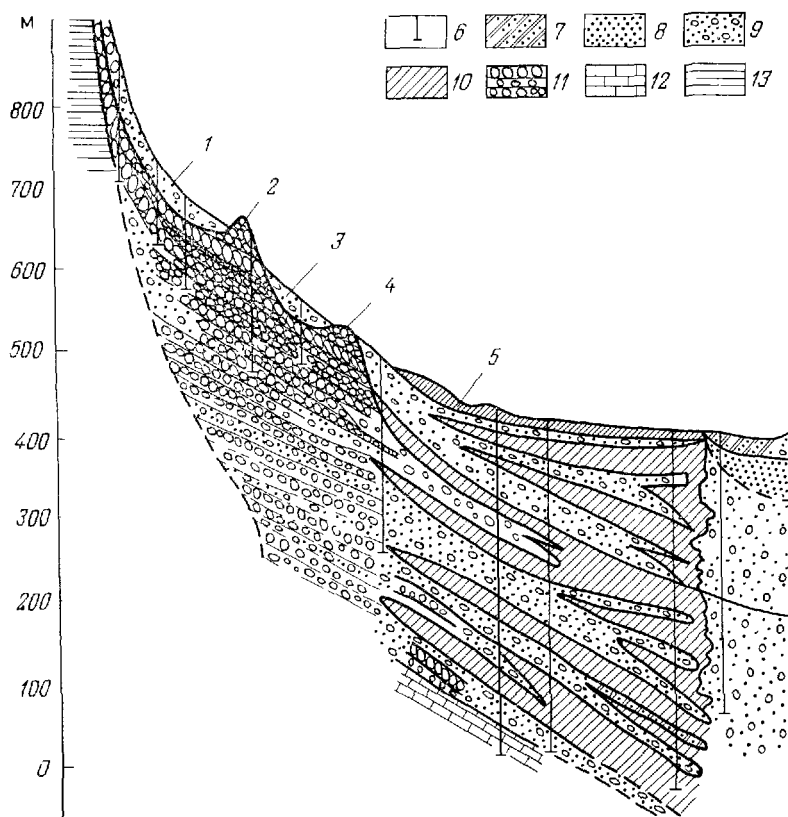


Рис. 24 Схематический продольный гидрогеологический разрез Маргелано-Бешалышского конуса выноса.

1 — верхняя генерация конуса выноса, 2 — гребень Акпияльской и Талмазарской гряд адыров, 3 — средняя генерация, 4 — гребень Капчугайской и Кувинской гряд адыров, 5 — нижняя генерация, 6 — разведочные скважины, 7 — суглинки; 8 — пески; 9 — галечники; 10 — суглинки и глины; 11 — конгломераты с прослоями галечников; 12 — известняки; 13 — сланцы

Морфологическое строение Маргелан-Бешалышского конуса выноса связано с пачавшимися в конце миоцена медленными поднятиями отдельных участков днища Ферганской котловины при усилившихся процессах горообразований в области современных передовых хребтов, окаймляющих котловину, и в связи с этим с гигантски возросшей энергией существовавших уже в то время рек Исфайрам-сай и Шахимардан-сай, сносивших в Ферганскую

котловину с поднимавшихся гор, сложенных породами палеозоя и мезозоя, огромные массы грубообломочного материала. Одновременно шли медленные в форме узких валов широтного простиранья поднятия отдельных участков днища котловины, приведшие к образованию упомянутых выше гряд адыров. По мере возвышения они постепенно размывались реками и их рукавами. Вследствие этого адыры, будучи поднятыми в настоящее время на десятки метров над современной поверхностью котловины, оказались расчлененными на отдельные блоки так называемыми «пропилами», имеющими нередко каньонообразную форму.

По «пропилам» осуществляется поверхностный и подземный сток из верхней генерации конуса выноса в среднюю, а из последней в нижнюю. Подземный сток в этом же направлении происходит и через адыры, но его величина в связи с низкой водопроницаемостью отложений адыров небольшая и в формировании запасов подземных вод нижележащих генераций конуса выноса практического значения (за редким исключением) не имеет.

В верхней и средней генерациях описываемого конуса выноса в общем наблюдается отмеченная для конусов классического геоморфологического строения гидрогеологическая зональность, но разгрузка подземных вод здесь обусловлена не сменой гранулометрического состава отложений конуса выноса сверху вниз (в плане) от крупных галечников с валунами до песков, суглинков и глин, как в конусах классического строения, а барражом, создаваемым адырами. На нижней генерации этого конуса выноса разгрузка подземных вод обусловлена изменением литологии пород водоносного пласта.

Четкое представление о характере гидрогеологической зональности на том или ином конусе выноса является решающим при выборе места для размещения водозабора. На неизученных конусах выноса разведку подземных вод следует начинать с выявления характера гидрогеологической зональности. С этой целью на основе рекогносцировочного гидрогеологического обследования (при необходимости на основе гидрогеологической съемки) площади конуса выноса следует провести бурение разведочных скважин по оси конуса от верхней границы области питания до выхода за верхнюю границу области дренажа. Число разведочных скважин должно быть не менее двух-трех на каждую область (питания, питания и стока, дренажа). Расстояния между скважинами могут быть различными, они принимаются из расчета выявления границы между областями (зонами). Разведку на площади конуса целесообразно проводить бурением разведочных скважин по линиям, нормальным к оси конуса. Протяженность этих линий в обе стороны от осевой линии: на малых конусах выноса — до их боковых границ, на обширных — не менее тройной длины ориентировочно намечаемого створа водозабора.

Одна из поперечных линий разведочных скважин должна быть расположена по намечаемому створу проектируемого водозабора.

При этом следует исходить из того, что наилучшим по гидрогеологическим и технико-экономическим условиям местом для размещения водозабора является нижняя треть средней его части, т. е. нижняя треть области питания — стока, примерно в 1—2 км выше по потоку от основной зоны выхода подземных вод на дневную поверхность. Здесь уровень грунтовых вод уже близок к поверхности земли (на глубине 3—5 м), а до гидрогеологической границы пласта с *km*, близким к нулю, еще относительно далеко.

Очевидно, что на недостаточно изученных конусах выноса детальная разведка подземных вод методом бурения разведочно-эксплуатационных скважин может быть осуществлена лишь после предварительной разведки, включающей весь комплекс гидрогеологических и гидрологических исследований. Так были разведаны нами подземные воды верхней генерации Маргелано-Бешалышского конуса выноса (см. рис 24), до этого практически не изучавшегося.

Здесь после предварительной разведки с широко поставленными гидрологическими наблюдениями и измерениями эксплуатационные запасы подземных вод были утверждены в ГКЗ по категории В. На их основе по согласованию с ГКЗ было составлено проектное задание на строительство водозабора и выданы рабочие чертежи на бурение и оборудование разведочно-эксплуатационных скважин. Одновременно были составлены технические условия опробования по скважинам водоносного пласта, учитывающие требования соответствующей инструкции ГКЗ, и программа дополнительных гидрометрических исследований и наблюдений за режимом подземных вод для уточнения приходных и расходных статей баланса и определения их обеспеченности. В итоге по результатам бурения и опробования эксплуатационных скважин, гидрометрических и гидрогеологических наблюдений эксплуатационные запасы подземных вод (оценка которых должна была выполняться на основе традиционной детальной разведки) были утверждены в ГКЗ по высоким промышленным категориям, при этом в соотношении категорий, в два раза превышающим предусмотренное инструкцией ГКЗ.

Водозабор подземных вод на описываемом участке был введен в эксплуатацию на два с половиной года раньше, чем это можно было сделать при детальной разведке подземных вод традиционным методом (из расчета: год — на детальную разведку и утверждение запасов в ГКЗ при соотношении категорий, позволяющем выделение капитальных вложений на строительство водозабора, полгода — на составление проекта и его утверждение и год на бурение и оборудование эксплуатационных скважин).

Особое место в отношении разведки и оценки эксплуатационных запасов занимают подземные воды карстовых областей. Здесь важнейшим условием рациональной постановки разведки, опробования подземных вод и достоверной оценки их эксплуатационных запасов является правильное понимание геологической

структуры, сложенной карстующимися породами, и четкое представление о гидрогеологических особенностях этой структуры (или части ее).

По условиям образования, масштабам и гидрогеологическим особенностям карст платформенных областей существенно отличается от карста областей предгорных краевых прогибов и тем более от карста горно-складчатых областей. Во всех случаях карст связан с растворением, выщелачиванием и эрозией карбонатных пород, но факторами, определяющими развитие карстовых процессов по глубине и в плане, являются: в платформенных областях — колебания (уровень) базиса эрозии, в горно-складчатых — тектонические поднятия и сопровождающие их разрывы сплошности горных массивов (разломы, сбросы, надвиги). В соответствии с этим карст в платформенных областях приурочен главным образом к речным долинам и их склонам, в горно-складчатых областях наряду с общей закарстованностью массива наиболее интенсивное его развитие приурочено к зонам тектонических нарушений.

При разведке подземных трещинно-карстовых вод выявление степени изученности района предстоящих гидрогеологических исследований (важное во всех случаях при разведке подземных вод любого типа) имеет особое методическое значение. По результатам такой работы можно не только избежать дублирования и более целенаправленно ставить полевые исследования, но и удлинить ряды гидрологических наблюдений и измерений, необходимых для оценки запасов подземных вод балансовым методом.

В проект разведки подземных трещинно-карстовых вод должен быть включен полный комплекс исследований с последовательным их выполнением в три этапа.

На первом этапе необходимо проводить следующие работы.

1. Комплексную гидрогеологическую съемку, включающую:

- а) наземные наблюдения и документацию геологических, геоморфологических и гидрогеологических особенностей — литологического состава водовмещающих пород, условий их залегания, трещиноватости, соотношения с подстилающими и покрывающими их породами, состава и мощности последних, характера рельефа, почвенного и растительного покровов, форм карста на поверхности и их морфологической приуроченности, источников подземных вод, их гипсометрического положения, расхода, химического и бактериологического состава, температуры и мутности воды;
- б) геофизические, горнопроходческие, буровые и опытно-фильтрационные работы для выявления глубины залегания поверхности карстующихся пород, зон тектонических нарушений, максимальной закарстованности, характера изменения по глубине и глубины распространения трещиноватости и закарстованности, направления и скорости движения подземных вод, фильтрационных свойств пород.

Площадь гидрогеологической съемки намечается исходя из морфологического строения района предполагаемого размещения

водозабора и требуемой его производительности. Водозаборы в карстовых областях следует располагать на пониженных участках местности, в логах, в долинах падей, оврагов, рек. Если район намечаемого крупного водозабора приурочен к долине реки, то в границы съемки должна быть включена эта долина вверх от водопотребителя на расстоянии 10—20 км, долины притоков в эту реку на указанном участке и водораздельные пространства в радиусе не менее 10—15 км.

Главным принципом установления границ гидрогеологической съемки является необходимость изучения основной области питания трещинно-карстовых вод по отношению к участку возможного размещения водозабора. Границы съемки могут быть установлены ориентировочно по имеющимся геологическим и ландшафтным картам или путем предварительной рекогносцировки; в процессе съемки границы ее площади могут быть при необходимости расширены или сужены; масштаб съемки 1 : 25 000—1 : 100 000.

2. Гидрогеологические и гидрологические наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод по источникам (родникам), скважинам, постам на временных и постоянных водотоках, водоемах в увязке с гидрометеорологическими факторами и явлениями.

3. Наблюдения за поглощением и дренажом поверхностного стока атмосферных осадков (ливневых и талых вод) и ручьев, рек.

На втором этапе по результатам исследований первого этапа выбирается участок размещения водозабора. На нем проводится гидрогеологическая съемка, включающая все отмеченные в п. 1, а, б работы и выполняемая в более крупном масштабе 1 : 5000—1 : 10000 в зависимости от размера и сложности участка.

Опытно-фильтрационные работы здесь должны проводиться как на одиночных скважинах, так и на их группах — кустах с охватом полной мощности пласта и отдельных его зон по глубине. Цель опытных работ — определение гидрогеологических параметров пласта, связи подземных вод с поверхностными и получение других данных, необходимых для оценки эксплуатационных запасов подземных вод гидравлическим, гидродинамическим и балансовым методами. Одновременно на всей общей (в первый этап) площади гидрогеологической съемки продолжают работы, указанные в пп. 2 и 3. На основе исследований, выполненных в первый и второй этапы, намечается схема водозабора, места заложения эксплуатационных скважин и их конструкция. Проводится бурение разведочно-эксплуатационных скважин и опытно-эксплуатационные откачки в течение длительного времени — 3, 6, 12 мес. в зависимости от того, насколько достоверно удалось выявить на первом и втором этапах исследований источники питания подземных вод. Опытно-эксплуатационная откачка должна сопровождаться полным комплексом гидрологических, гидрогеологических и гидрохимических наблюдений в зоне действия откачки и на всей площади разведки.



Не менее трудную задачу, чем в областях карста, представляет разведка и оценка эксплуатационных запасов подземных вод, приуроченных к отдельным структурам складчатых областей. Особенности месторождений подземных вод, формирующихся в структурах этих областей, являются:

- подчиненность их в слоистых толщах отдельным литологическим пластам и слоям пород (известнякам, доломитам, песчаникам), соседствующим с пластами и слоями безводных пород и нередко залегающим под крутыми (до вертикального) углами к горизонту, а в однородных толщах — зонам повышенной трещиноватости, связанной с тектоникой, или собственно зонам тектонических нарушений;

- локальное распространение в плане, вытянутость в форме полос по простиранию пласта или вдоль зоны тектонического нарушения либо сосредоточение на незначительных по размерам площадях куполообразных поднятий, сводовых частей брахиантиклинальных складок, крыльев синклиналей;

- неравномерная степень обводненности пород в плане и по разрезу, увеличение минерализации подземных вод с глубиной;

- небольшие, чаще всего эксплуатационные запасы подземных вод.

Типичными примерами такого типа месторождений подземных вод могут служить месторождения в бассейне рек Кара-Кингир и Желанды в Южном Казахстане (обследованные нами при изысканиях в 1936 и 1956 гг., где подземные воды приурочены к складчатым структурам, сложенным карбонатными породами карбона и девона; Бестюбинское месторождение в Кустанайской области, где подземные воды приурочены к линейно-вытянутым структурам шириной 200—800 м, сложенным известняками нижнего карбона, залегающими между сланцами; Обуховское месторождение в Кокчетавской области и др.

При разведке подземных вод в таких структурах на стадии предварительной разведки особое внимание должно быть уделено, в частности, геологической и гидрогеологической съемке, выявлению источников и условий формирования запасов и качества подземных вод, гидрогеологических границ водоносных пластов или обводненных зон в пределах пласта, а также опробованию водоносных пластов в плане и по глубине. При положительных результатах предварительной разведки детальную разведку для более надежного определения количества воды, которое может быть получено на месторождении, целесообразно проводить здесь также путем бурения разведочно-эксплуатационных скважин и длительного их опробования откачками. При этом разведочно-эксплуатационные скважины следует бурить в местах (точках) расположения разведочных скважин, показавших лучшие гидрогеологические условия.

Приведенные некоторые рекомендации по разведке месторождений подземных вод в общем соответствуют «Инструкции по

применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям пресных вод», не противоречат рекомендациям, приведенным в работе [112], и преследуют цель сокращения времени на разведку месторождений подземных вод во всех отмеченных выше условиях без снижения степени достоверности ее результатов и ускорения ввода водозаборов в эксплуатацию, в чем всегда имеется необходимость в самом начале организации строительства объекта

Изложенный выше принцип постановки работ по разведке отдельных месторождений подземных вод и по проектированию и строительству водозаборов предполагает тесную взаимосвязь между разведочной (изыскательской) и проектной (при необходимости и научно-исследовательской) организациями и ГКЗ, а также между проектной и строительной (буровой) организациями. Этот принцип предполагает также уточнение порядка финансирования работ по бурению и опробованию разведочно-эксплуатационных скважин как метода детальной разведки с тем, чтобы они могли выполняться по рабочим чертежам и оплачиваться по статье капитальных вложений.

Этот принцип мы рекомендуем потому, что на достаточно изученных месторождениях подземных вод I группы разведку в одну стадию путем бурения разведочно-эксплуатационных скважин и опробования их кратковременными откачками можно осуществлять без всякого риска ошибиться в оценке эксплуатационных запасов, а на неизученных месторождениях II и в особенности III групп даже при самом полном соблюдении стадийности разведок, но без бурения на стадии детальной разведки разведочно-эксплуатационных скважин и их опробования длительными опытными, опытно-эксплуатационными откачками часто нельзя оценить возможную производительность проектируемого водозабора.

Стоимость детальной разведки подземных вод путем бурения разведочно-эксплуатационных скважин и длительного на месторождениях II и III групп их опробования опытно-эксплуатационными откачками с расходом не менее 75% от дебита проектируемого водозабора в совокупности с гидрогеологическими и гидрохимическими (при необходимости и гидрологическими) наблюдениями в зоне действия водозабора и продолжением этих наблюдений на общей площади предварительной разведки не будет выше стоимости детальной разведки, выполненной путем бурения и опробования разведочных скважин. Полученные при этом данные для подсчета эксплуатационных запасов могут быть более надежными, чем данные детальной разведки, выполняемой обычными методами.

Стоимость опытно-эксплуатационной откачки воды, например в объеме  $1 \text{ м}^3/\text{с}$  в течение полугода на высоту 50 м, может составить (при стоимости электроэнергии 2 коп. за 1 кВт ч) не более 100—120 тыс. руб.

Стоимость опытно-эксплуатационной откачки можно подсчитать по формулам:

$$N = \frac{Q\gamma H}{102\eta_n\eta_{дв}}; \quad (63)$$

$$W = Nt; \quad (64)$$

$$C = WP; \quad (65)$$

$$C_1 = WPt_1, \quad (66)$$

где  $N$  — потребная мощность на откачку количества воды  $Q$  (в л/с) с плотностью  $\gamma$ , равной единице, на высоту  $H$  (в м), кВт;

$\eta_n$  и  $\eta_{дв}$  — коэффициенты полезного действия насоса и двигателя соответственно;

$W$  — годовая потребность энергии, кВт ч;

$t$  — годовая продолжительность откачки, ч;

$C$  — годовая стоимость энергии, руб.;

$P$  — стоимость 1 кВт ч, руб.;

$C_1$  — стоимость заявленной мощности, руб.;

$t_1$  — время использования заявленной мощности, лет.

Подсчет по формулам (63)—(66) показывает, что общая стоимость заявленной мощности для проведения опытно-эксплуатационной откачки по приведенному выше примеру составит около 87,6 тыс. руб.

К этой сумме следует добавить стоимость подводки электроэнергии, отвода откачиваемой воды, сумму заработной платы персонала, выполняющего откачку и наблюдения, а также расходы на амортизацию и текущий ремонт. Из общей суммы следует вычесть стоимость бурения и оборудования для специальных опытных откачек, опытных и наблюдательных скважин, которые должны быть пробурены при детальной разведке обычным методом на месте, выбранном под водозабор, и которые чаще всего не могут быть использованы (по месту их расположения, конструкции, глубине и по другим причинам) даже в качестве пунктов постоянной сети наблюдений за режимом подземных вод при эксплуатации водозабора и потому полностью или большей частью ликвидируются, нередко с оставлением в них обсадных труб.

## 2. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕРЕГОВЫХ (ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ) ВОДОЗАБОРОВ

Водозаборы из ряда скважин, шахтных колодцев или галерей, расположенные вдоль берега водотока или водоема (реки, канала, озера, водохранилища) и рассчитанные на получение инфильтрата из данного водотока (водоема), называются инфильтрационными.

Инфильтрационные водозаборы сооружаются обычно там, где нет достаточного количества пригодных для использования под-

земных вод или эксплуатация их в данный момент экономически нецелесообразна и где по гидрологическим условиям (значительная шугоносность реки, сильная загрязненность ее взвешенными наносами, высокая температура воды и др.) эксплуатация открытого водозабора оказывается сложной или неприемлемой.

Инфильтрационные водозаборы в практике водоснабжения чаще всего сооружают в долинах рек и в расчете на их питание из реки располагают на пойме, высокой пойме или при их отсутствии на первой надпойменной террасе.

В случаях, когда динамические и статические запасы грунтовых вод, содержащихся в аллювиальных отложениях в зоне действия инфильтрационного водозабора, небольшие, что обычно имеет место при мощности аллювия в долинах рек до 10—15 м и когда на участке размещения инфильтрационного водозабора отсутствует подпитывание аллювиальных вод водами коренных отложений, подстилающих аллювий, воды открытого водотока, у которого сооружен данный инфильтрационный водозабор, являются единственным источником его питания. Такие береговые (инфильтрационные) водозаборы рассмотрены ниже.

По данным многолетнего опыта изысканий, проектирования и эксплуатации такого рода инфильтрационных водозаборов [10] можно выделить три характерных по величине дебита водозабора: проектный, начальный эксплуатационный и длительный эксплуатационный.

Первый определяется расчетом по материалам натурных гидрогеологических исследований, принятой схеме и типу водозабора и принимается обычно постоянным во времени. Второй определяется фактическим отбором воды в первый (пусковой) период работы водозабора и характеризуется науклонным и относительно быстрым снижением во времени. Третий выявляется по истечении первого периода работы водозабора и представляет собой фактический отбор воды, относительно постоянный в течение длительного периода эксплуатации водозабора. Соотношение этих дебитов показано на рис. 25. Проектный дебит ( $Q_{пр}$ ) в этом соотношении почти всегда находится выше эксплуатационного  $Q_3$ , что связано с неполным учетом в проекте фильтрационного сопротивления русла реки, сформировавшегося на участке водозабора до ввода его в эксплуатацию.

Начальный дебит водозабора  $Q_n$  может быть в одних случаях выше, в других на уровне, в третьих ниже  $Q_{пр}$ , но всегда выше  $Q_3$ , поскольку в начальный период работы водозабора к нему наряду с инфильтратом из реки, определяющим  $Q_3$ , стягиваются и так называемые статические запасы подземных вод аллювиальных отложений. Эксплуатационный дебит водозабора во всех этих случаях будет, как и  $Q_{пр}$ , функцией типа и схемы водозабора и в отличие от  $Q_{пр}$  функцией исторически сложившихся и фактически существующих природных фильтрационных условий места его размещения — главным образом степени совершенства гидра-

влической взаимосвязи речных вод с аллювиальным водоносным горизонтом, в который заложены водозахватные сооружения, т. е. условий, всегда в какой-то мере отличных от заложенных в проект по результатам изысканий.

Время  $t_1$ , в течение которого устанавливается эксплуатационный дебит, может быть различным, поскольку оно зависит от степени учета в проекте гидрогеологических условий участка водозабора, объема статических запасов грунтовых вод аллювиального водоносного горизонта в зоне действия водозабора и количества отбираемой водозабором воды в единицу времени в период

Рис. 25. График  $Q = f(t)$  инфильтрационных водозаборов в начале эксплуатации.

1 — проектный (расчетный) дебит  $Q_{пр}$ ; 2 — начальный эксплуатационный (пусковой)  $Q_{н}$ ; 3 — длительный эксплуатационный  $Q_{э}$

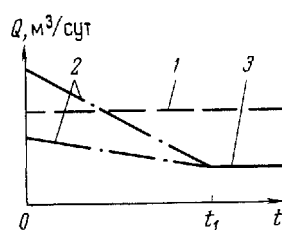
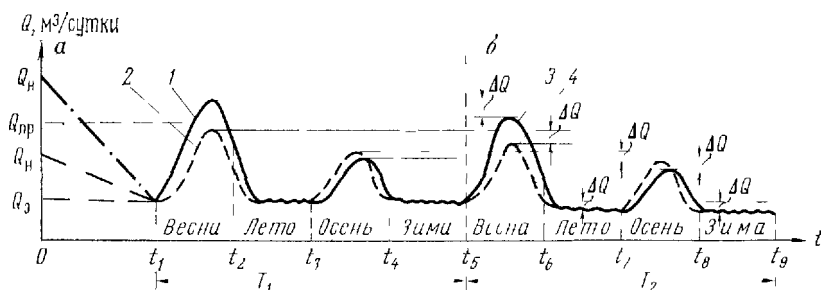


Рис. 26. График  $Q = f(t)$  инфильтрационных водозаборов при длительной эксплуатации.

1, 2 — кривые эксплуатационного дебита водозабора в период  $T_1$  в разные по водности гидрологические годы; 1, 3 и 2, 4 — то же, в периоды  $T_1$  и  $T_2$  в одинаковые по водности гидрологические годы



от  $t_0$  до  $t_1$ . Это время по ряду действующих инфильтрационных водозаборов [10, 17] составило от нескольких месяцев до года, отношение  $\frac{Q_{э}}{Q_{пр}}$  — от 0,9 до 0,2, а отношение  $\frac{Q_{э}}{Q_{н}}$  — от 0,71 до 0,35.

Опыт эксплуатации инфильтрационных водозаборов показал, что установившийся в период от  $t_0$  до  $t_1$  эксплуатационный дебит водозабора оказывается:

— непостоянным внутри гидрологического года. Ежегодно в паводок вследствие подъема уровня воды в реке и водоносном пласте, переформирования русла реки и улучшения условий инфильтрации дебит водозабора заметно повышается и затем в начале или в первой половине меженного периода вновь снижается до исходной величины;

— зависящим от величины и продолжительности паводка — максимальные дебиты водозаборов в паводок в различные по водности годы не совпадают по величине и смещаются во времени (рис. 26).

Продолжительность периода  $T_1$  с практически постоянным дебитом инфильтрационного водозабора в межень, характеризуясь внутри гидрологического года кривыми 1, 2 (см. рис. 26, а), измеряется многими годами и десятилетиями [10].

Опыт эксплуатации инфильтрационных водозаборов показывает, наконец, что по истечении периода  $T_1$  в их работе наступает период  $T_2$ , характеризующийся кривыми 3, 4 (рис. 26, б), по которым фиксируется некоторая величина

$$\Delta Q = Q_{эT_1} - Q_{эT_2}, \quad (67)$$

где  $Q_{эT_1}$  и  $Q_{эT_2}$  — эксплуатационные дебиты водозабора в периоды  $T_1$  и  $T_2$  в одинаковые по водности гидрологические годы.

Между  $Q_{эT_1}$  и  $Q_{эT_2}$  резкой границы во времени, как это показано на рис. 26, нет; снижение дебита водозабора происходит медленно, по мере постепенного накопления факторов, вызывающих это снижение. Однако время, когда величина  $\Delta Q$  становится уже ощутимой, фиксируется четко. Этому времени и соответствует на указанном рисунке конец периода  $T_1$ . Величина  $\Delta Q$  непостоянна и с течением времени возрастает. В общем случае она связана с некоторой «остаточной», не снятой очередным паводком эксплуатационной кольматацией русла реки, заилением скважин, зарастанием их фильтров и повышением гидравлического сопротивления грунтов в прифильтровых зонах скважин. При работе инфильтрационного водозабора в условиях естественного режима реки (без устройства русловых запруд ниже водозабора) большая часть величины  $\Delta Q$  приходится не на эксплуатационную кольматацию русла, а на ухудшение работы скважин в результате их старения. В случаях же эксплуатации инфильтрационного водозабора не только при естественном режиме руслового потока реки, но и с малой величиной перепада между уровнем воды в реке и динамическим уровнем в скважинах (по нашим наблюдениям на водозаборах Татарии и Башкирии не более 0,05—0,06)  $\Delta Q$  практически целиком относится за счет ухудшения работы самих скважин. В условиях, когда естественный режим реки нарушается устройством ниже водозабора русловой запруды, кольматация становится определяющим величиной  $\Delta Q$  фактором.

Таким образом, можно сделать вывод, что инфильтрационный водозабор может работать длительное время (десяtkи лет) с практически постоянным дебитом, если он:

а) запроектирован с достаточно полным учетом природных условий места его расположения;

б) построен без нарушения естественной динамики руслового потока;

в) рассчитан на оптимальную величину уклона инфильтрационного потока от реки к каптажным сооружениям — не более 0,05—0,06;

г) надлежащим образом эксплуатируется (периодическая чистка скважин, обработка их фильтров и прифильтровых зон грунтов водоносного пласта, замена фильтров в скважинах или бурение скважин вновь).

Соблюдение последних трех условий, обеспечивающих длительную нормальную работу инфильтрационных водозаборов, легко осуществить при проектировании, строительстве и эксплуатации водозаборов; соблюдение первого условия связано с рядом трудностей проведения изысканий. Некоторые рекомендации по этому вопросу излагаются ниже.

### **Выбор места расположения водозаборов**

Инфильтрационные водозаборы в расчете на питание из реки располагают, как отмечено выше, на пойме, высокой пойме или при их отсутствии на первой надпойменной террасе.

В гидрогеологическом отношении наиболее предпочтительными для размещения инфильтрационных водозаборов являются:

1. Неперемежающие участки перекатов, где русла рек по сравнению с другими участками сложены, как правило, более крупным обломочным материалом, менее заилены и подвержены большей деформации в паводок.

2. Участки реки, прямолинейные в плане, с широкой сухой поймой, свободной от стариц и болот, являющихся источниками железа.

3. Участки вдоль подмываемого берега реки с крутопадающим в сторону фарватера дном русла, с глубиной потока, превышающей максимальную толщину льда, что обеспечивает наименьшую ширину полосы полного промерзания русла вдоль уреза. При этом следует учитывать, что на таких участках продукты размыва берега часто откладываются здесь же, создавая по дну реки естественный суглинистый экран, в связи с чем берег приходится крепить.

4. Участки с максимальной мощностью аллювия и лучшими фильтрационными свойствами; в этом отношении в долинах рек наибольший интерес представляют переуглубленные участки (участки древних русел).

Выбор места расположения инфильтрационного водозабора проводится в два этапа. На первом этапе (полевым) с этой целью выполняются:

- общее рекогносцировочное обследование ближайшей к водопотребителю части долины реки;

- электроразведочные работы методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) для выявления мощности аллювиальных отложений;

- бурение и опробование отдельных разведочных скважин для определения характера напластования, состава, фильтрационных свойств аллювиальных отложений и качества воды;

- облегченные промеры русла реки с глазомерной привязкой точек промера;

— зондирование дна реки для установления литологического состава донных отложений (илы, пески, гравий, галька и др.) с глазомерной привязкой точек зондирования.

ВЭЗ и бурение отдельных скважин ведется по поперечникам; на малых и средних реках — через всю долину реки в пределах поймы или первой надпойменной террасы и в русле реки; на крупных реках — в пределах поймы или первой надпойменной террасы на обследуемом берегу и в реке до середины ее русла.

По результатам перечисленных работ намечается участок для постановки детальных изысканий, а место водозабора в пределах этого участка определяется на втором этапе по результатам детальных изысканий, состав, объем и методика которых приводятся ниже.

При определении размеров (протяженности) участка для постановки детальных изысканий следует исходить из потребного количества воды (заданной производительности проектируемого водозабора) и количества возможного получения ее с 1 км фронта реки в данных гидрогеологических и гидрологических условиях. Задача эта может быть решена методом аналогии по производительности инфильтрационных водозаборов, эксплуатируемых в условиях, аналогичных (или приведенных к аналогичным) условиям проектируемого водозабора, или путем ориентировочных расчетов эксплуатационного дебита проектируемого инфильтрационного водозабора в данных природных условиях.

Для решения этой задачи методом аналогии можно пользоваться данными, приведенными в работах [10, 116, 135], и другими аналогичными сведениями по инфильтрационным водозаборам, эксплуатируемым в различных районах страны. Ориентировочный расчет длины участка детальных изысканий может быть выполнен по результатам исследований, проводимых на первом этапе.

Длину (протяженность вдоль русла реки) участка для постановки детальных изысканий следует намечать с запасом; коэффициент запаса в различных гидрогеологических условиях может быть различным, но не менее 1,5—2 по отношению к протяженности, определенной по аналогии или ориентировочным расчетом.

### **Состав, объем и методика детальных исследований на выбранном участке**

Целью изысканий на выбранном участке является определение места расположения каптажных сооружений, исходных данных для определения эксплуатационного дебита водозабора и прогноза качества воды.

В состав изысканий входят гидрометрические, электроразведочные, гидрогеологические (буровые — разведочные и опытно-фильтрационные), лабораторные и топографические работы.



## Гидрометрические исследования

Задачей гидрометрических исследований является: определение расходов и уровней воды в реке и получение при этом данных для расчета расхода и уровня необходимой обеспеченности; определение мутности воды, вещественного и гранулометрического состава взвесей, скоростей течения воды в реке, характера и интенсивности деформации русла, размываемости берегов, общего и особенно зимнего режима реки. С этой целью состав, объем и методика изысканий намечаются в соответствии с наставлениями ГУГМС гидрометрическим станциям и постам. В составе гидрологических работ некоторую специфику при изысканиях для инфильтрационных водозаборов приобретает выявление зимнего режима реки, в результате которого должен быть показан характер изменения живого сечения русла во времени за период от начала ледостава до начала ледохода. Для этого производится ледовая съемка русла до начала ледостава и два-три раза в период ледостава: в первый месяц ледостава, в середине периода ледостава и перед ледоходом, когда толщина ледяного покрова наибольшая.

Съемка русла проводится: по длине реки — в пределах всего участка детальной разведки; по ширине — на малых и средних реках в пределах всего русла (от берега до берега), на крупных реках (таких, как Волга, Енисей, Кама и др.) — до середины русла реки. Съемка выполняется по поперечникам через 20—50 м. Шаг между точками промеров на поперечниках 2—5 м — у берегов в полосе возможного полного промерзания воды в реке и ее дна и 10—20 м — в области живого сечения.

Большие или меньшие расстояния между поперечниками и между точками промеров принимаются в зависимости от морфологических особенностей русла реки, глубины воды и размеров участка исследований. Так, на участках рек с четко выраженным руслом, сосредоточенным током воды в нем, хорошо очерченными берегами, отсутствием мелких перекатов и с глубиной, значительно превышающей возможную толщину льда, могут быть приняты большие расстояния из приведенных выше.

По результатам промеров составляются планы-схемы русла реки на разные периоды года и на разное время в период ледостава, а также профили по характерным поперечникам. Результаты промеров должны быть интерпретированы с учетом расходов и уровней воды в реке заданной (обычно 95%-ной) обеспеченности.

Материалы гидрометрических исследований используются при установлении расчетных значений величин, входящих в формулы определения эксплуатационного дебита водозабора:  $H_{расч}$  — мощность водоносного горизонта и  $L_{расч}$  — расстояние от уреза воды в реке до водозабора.

## Гидрогеологические исследования

В задачу гидрогеологических исследований входит определение:

- мощности и размеров в плане в пределах поймы, надпойменной террасы аллювиального водоносного горизонта, литологического и гранулометрического состава слагающих его отложений и их фильтрационных свойств;

- мощности, характера напластования, состава и фильтрационных свойств русловых отложений;

- степени связи аллювиального водоносного горизонта с рекой;

- гидрогеологических условий коренных отложений долины, подстилающих аллювий (наличие или отсутствие подземных вод в коренных отложениях, количественная и качественная характеристика их, связь с аллювием);

- химического состава и бактериального загрязнения грунтовых и речных вод

С этой целью проводятся комплексные гидрогеологические исследования: литологическая съемка дна русла реки, электроразведка, бурение, опытные наливы воды в донные отложения, опытные откачки, отбор проб грунтов и воды, их анализы.

### Литологическая съемка русла реки

Литологическая съемка производится для определения характера напластования и литологического состава русловых отложений с целью последующего опробования их на фильтрацию и

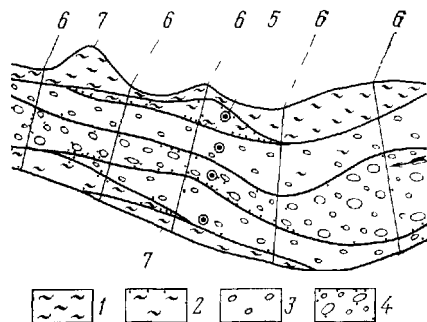


Рис 27 Фрагмент литологической карты дна русла р. Ик на участке Новотумутукского берегового (инфильтрационного) водозабора

1 — илы, 2 — пески илистые, 3 — пески с гравием, 4 — галечники и гравий с песком, 5 — разведочные скважины, 6 — промерные и зондировочные поперечники, 7 — линии уреза воды в русле

оценки фильтрационного сопротивления ложа реки. Съемка осуществляется путем последовательного выполнения следующих работ:

- зондирования ложа реки шестом и определения литологического состава поверхностного слоя грунтов на ощупь. Зондирование ведется по тем же поперечникам, что и ледовая съемка русла, с теми же расстояниями между поперечниками и между точками промеров;

— составления рабочей карты литологического состава донных отложений (рис. 27);

— бурения зондировочных скважин в пределах каждой литологической разности отложений, выявленных литологической съемкой. Бурение ведется методом опережающей забой скважины посадки обсадных труб на глубину 0,5—0,7 м и последующего извлечения грунтов из скважины специальным наконечником — пробоотборником, забиваемым на глубину 0,3—0,5 м. Это позволяет уточнить состав донных отложений, выявить характер заиленности поверхности дна реки при ее наличии, определить мощность заиленного слоя, проследить по разрезу подрусловых отложений смену или однородность их напластований и отобрать на анализ пробы грунтов с сохранением их гранулометрического состава.

### **Электроразведочные работы**

На участке, выбранном для размещения инфильтрационного водозабора, электроразведочные работы методом ВЭЗ выполняются детально, по поперечникам, в том числе и по намечаемым для бурения скважин. Проведение ВЭЗ предшествует бурению. Шаг между точками ВЭЗ на поперечниках принимается, как правило, не более 100 м; между точками резких аномалий проводятся дополнительные ВЭЗ.

Результаты ВЭЗ используются для предварительного выбора места размещения проектируемого водозабора с целью проведения разведочных и опытных работ, а также для размещения в пределах исследуемого участка долины разведочных скважин.

### **Буровые разведочные работы**

Разведочные скважины в пределах исследуемого участка располагают по поперечникам вкрест простираения долины. Расстояния между поперечниками и между скважинами на поперечниках принимаются в зависимости от морфологических особенностей долины реки, ширины и протяженности участка разведки в расчете на получение достаточно полной информации о его гидрогеологических условиях. В общем случае на 1 км протяженности участка разведки должно быть не менее трех-четырех поперечников. При резком отличии геолого-литологических и гидрогеологических условий по соседним поперечникам между ними задается дополнительный поперечник разведочных скважин.

По длине поперечники должны выходить за границы морфологического элемента, на котором намечается расположение водозабора: на соседние террасы при расположении участка разведок на пойме либо на коренные склоны долины, если террасы отсутствуют или ширина их короче протяженности проектируемого водозабора, или, наконец, когда участок расположен на террасе, сопрягающейся непосредственно с коренным склоном долины.

Расстояния между разведочными скважинами на поперечниках можно принимать: в пределах морфологического элемента, на котором намечено разместить водозабор, — 50—100 м, в пределах морфологических элементов, сопрягающихся с данным элементом, — 100—200 м в зависимости от их ширины. Места заложения скважин должны выбираться из условий достаточно полного выявления геолого-литологической и гидрогеологической взаимосвязи морфологических элементов, приходящихся на поперечник. В узких долинах, заложенных в коренных породах, разведка ограничивается по ширине долины площадью распространения аллювия с выходом за ее границы на оба коренных склона разведочными скважинами, пройденными через один поперечник. Когда ширина морфологического элемента, в пределах которого размещается водозабор, значительная (измеряемая километрами), протяженность разведочных поперечников в каждую сторону от оси проектируемого водозабора должна быть не менее двукратной длины водозабора. При этом расстояние между скважинами на поперечниках за пределами морфологического элемента, на котором располагается проектируемый водозабор, может быть увеличено до 250—500 м. На каждом поперечнике скважины бурятся у урезов воды в реке и в русле; шаг между скважинами на поперечниках в пределах русла не более 25—50 м. При ширине русла до 25 м в его пределах по каждому поперечнику бурится по три скважины — по одной у урезов воды в русле и одна в середине русла.

Бурение скважин в рыхлых отложениях производится ударно-канатным способом, в скальных — колонковым с промывкой чистой водой. Диаметр скважин, предназначенных для опытных откачек, принимается из расчета установки в них фильтров диаметром не менее 168 мм с привязными пьезометрами. При бурении из каждого слоя пород водоносного пласта отбираются валовые пробы на определение гранулометрического состава для выбора конструкции фильтров.

Все разведочные скважины после окончания их бурением оборудуются фильтрами для наблюдения за режимом грунтовых вод.

### **Опытно-фильтрационные работы**

Опытно-фильтрационные работы состоят главным образом из опытных откачек и проводятся по скважинам в пределах всего участка разведки.

Число откачек в пределах морфологического элемента, на котором намечено расположить водозабор, принимается из расчета одной опробованной скважины на каждые 5 га площади этого элемента; площадь вычисляется по ширине элемента и длине намечаемого водозабора. Когда ширина морфологического элемента (поймы, высокой поймы, первой надпойменной террасы) небольшая (100—150 м), в пределах его площади, вычисленной как отмечено выше, должно быть опробовано откачкой не менее

трех-пяти скважин на 1 км длины водозабора; на прилегающих к этому элементу площадях — одна опробованная скважина на 10—15 га площади; в русле реки — откачки из одной-трех скважин на каждую литологическую разность русловых отложений, выявленных литологической съемкой.

Опытные откачки из разведочных скважин целесообразно проводить на одно понижение без устройства специальных опытных кустов, но с обязательным наблюдением за уровнями грунтовых вод по всем скважинам, близлежащим к опробуемой, и за уровнем воды в реке. Откачку следует проводить с максимально возможным дебитом до момента, когда в соседних к опытной разведочных или в других опытных скважинах величина снижения уровня будет в десятки раз больше точности измерений уровня и не менее 0,3—0,5 м от статического.

По опытной откачке из одной скважины с большим (максимально возможным в данных гидрогеологических условиях) дебитом и понижением, с наблюдением за снижением уровней воды во всех ближних и дальних от опытной разведочных и других опытных скважинах, а также в реке можно получить более полную информацию о гидрогеологических условиях участка, чем по специальной кустовой откачке, при которой бурится обычно ограниченное число (две-три) наблюдательных скважин, располагаемых вблизи опытной.

По результатам промерных гидрологических работ и изучения зимнего режима реки в совокупности с данными ВЭЗ, геолого-литологической съемки русла, разведочного бурения и фильтрационного опробования аллювия в русле и в пределах всего берегового участка разведки строятся карты и профили (разрезы) проводимости водоносного пласта и по ним выбираются место и схема размещения проектируемого водозабора (обычно в виде линейного ряда скважин).

В завершение детальной разведки целесообразно по намеченной линии водозабора бурить разведочно-эксплуатационные скважины. Шаг между скважинами: на малых водозаборах — по проекту (т. е. бурение всех намеченных скважин), на больших — кратный проектному (т. е. бурение через одну-две скважины). Способ бурения разведочно-эксплуатационных скважин в рыхлых отложениях — ударно-канатный, в скальных — роторный с промывкой чистой водой. Диаметр скважин эксплуатационный. В случаях, когда это возможно по составу пород водоносного пласта и гидрогеологическим условиям (отсутствие в водоносном пласте валунов, положение статического уровня подземных вод не выше поверхности земли) и целесообразно по соотношению затрачиваемого времени на подготовительные для бурения работы и на самобурение, рекомендуется применять вращательный способ с обратной промывкой.

Откачки из разведочно-эксплуатационных скважин, расположенных на оси водозабора, производятся на два-три понижения

и также с обязательным наблюдением за уровнем грунтовых вод в близлежащих разведочных, опытных и разведочно-эксплуатационных скважинах и уровнем воды в реке.

В русле реки откачки ведутся как одиночные, так и кустовые — из центральных скважин с одной-двумя наблюдательными. При

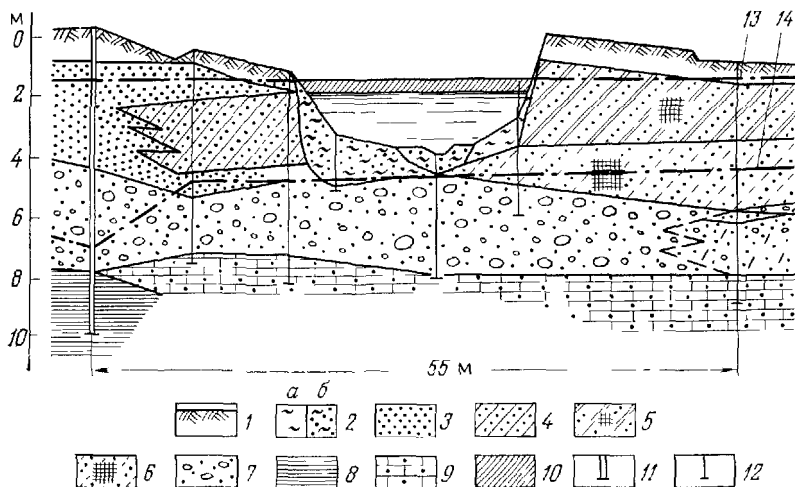


Рис. 28. Поперечный разрез через русло р. Степной Зай на участке действующего Бигашевского инфильтрационного водозабора.

1 — почва; 2 — подрусловые отложения (а — илы, б — пески илстые, тонкозернистые); 3 — пески мелкозернистые; 4 — суглинки легкие; 5 — суглинки тяжелые с торфом; 6 — супеси с горфом, 7 — гравийно-галечниковые отложения, 8 — глины, 9 — песчаники; 10 — лед; 11 — действующая эксплуатационная скважина; 12 — разведочные скважины, пробуренные при эксплуатации водозабора; 13 — статический уровень грунтовых вод; 14 — динамический уровень при эксплуатации водозабора

откачках из русловых скважин должно быть соблюдено условие [18]:

$$C > \frac{0,43l_0}{\lg \frac{l_0}{r_0}}, \quad (68)$$

где  $C$  — расстояние от дна реки до верхнего конца рабочей части фильтра скважин;

$l_0$  — длина рабочей части фильтра;

$r_0$  — радиус фильтра.

Важнейшей задачей опытно-фильтрационных работ наряду с выявлением на створе водозабора и прилегающих к нему площадях фильтрационных свойств водоносного горизонта является определение фильтрационного сопротивления ложа реки. Учет этого фактора является решающим в оценке эксплуатационного дебита инфильтрационного водозабора.

В случаях, когда в русле реки четко выделяется двухслойное сложение подруслового аллювия (рис. 28) с верхним менее водопроницаемым слоем, фильтрационное сопротивление ложа реки

(дополнительное сопротивление), возникающее при фильтрации воды из реки через менее водопроницаемый слой в более водопроницаемый и по нему к водозабору, может быть определено по формулам (4), (5). Входящие в эти формулы величины определяются при изысканиях:  $m_1$  и  $m$  — путем литологической съемки дна русла и последующего бурения в русле разведочных скважин,  $k_1$  — опытным наливом воды в верхний слой,  $k$  — откачкой из нижнего слоя.

Для опытного налива в верхний слой грунтов задавливаются на всю его

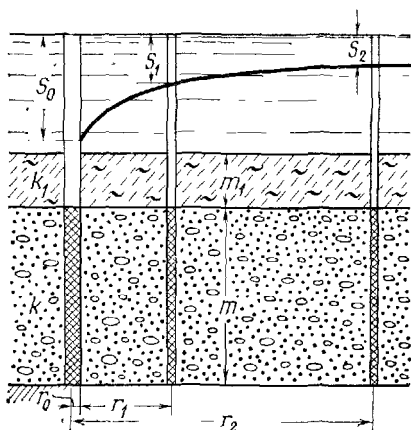
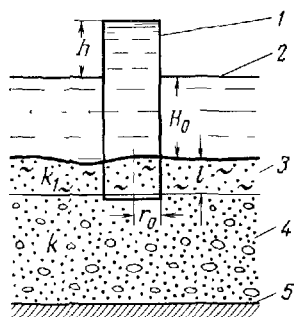


Рис. 29. Схема опытного налива для определения водопроницаемости донных отложений в русле р. Китай.

1 — обсадная труба; 2 — уровень воды в реке; 3 — поверхностный слой донных отложений (пески мелкозернистые, илстые); 4 — галечниковые отложения, 5 — водоупор

Рис. 30. Схема опытного куста скважин в русле реки.

мощность обсадная труба диаметром 277—325 мм (чем больше диаметр трубы, тем лучше); верх трубы должен возвышаться над уровнем воды в реке примерно на 1 м, что удобно для ведения опыта и достаточно для создания напора при фильтрации (рис. 29). При наливе уровень воды в трубе поддерживается постоянным, опыт ведется до стабилизации расхода. Такие опыты удобно проводить со льда. По данным опыта  $k_1$  можно определить по формуле

$$k_1 = \frac{Q}{\pi r_0^2 i}, \quad (69)$$

где  $Q$  — расход наливаемой воды в скважину;

$r_0$  — радиус скважины;

$i$  — градиент напора, равный

$$i = \frac{l + H_0 + h}{l}. \quad (70)$$

Значение  $k_1$  может быть определено также опытной откачкой из русловой скважины с двумя наблюдательными скважинами (рис. 30) по формулам [18]:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{K_0(r_2\beta)}{K_0(r_1\beta)}; \quad (71)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{k_1}{kmm_1}}, \quad (72)$$

где  $K_0$  — функция Бесселя нулевого порядка мнимого аргумента. Остальные обозначения см. на рис. 29. Значение  $\beta$  определяется по формуле (71) подбором,  $k$  — по опытной откачке с соблюдением условия (68),  $m$  и  $m_1$  — по данным бурения и литологической съемки русла. Зная  $\beta$ ,  $k$ ,  $m$  и  $m_1$ , можно по формуле (72) определить  $k_1$ .

Такой способ определения фильтрационного сопротивления ложа реки является трудоемким и возможен лишь в условиях, как отмечено выше, четко выраженного двухслойного строения руслового аллювия.

При двухслойном строении руслового аллювия и тогда, когда слоистость отсутствует, а вся толща характеризуется неравномерной заиленностью с поверхности и наличием в ней глинистых прослоев и линз, фильтрационное сопротивление русловых отложений с учетом неполной врезки в них русла может быть проще определено по данным наблюдений за понижением уровней воды в реке (при установившейся кривой депрессии грунтового потока в реку или из реки на ее прямолинейном участке) и в двух скважинах, расположенных по створу перпендикулярно к реке [154].

По результатам наблюдений при симметричной схеме грунтового потока сопротивление ложа может быть определено по формуле

$$\Delta L = \frac{H_1 - H_p}{H_2 - H_1} (x_2 - x_1) - x_1, \quad (73)$$

где  $H_1$ ,  $H_p$ ,  $H_2$  — уровни воды в ближайшей к реке скважине, в реке и дальней от реки скважине соответственно;

$x_1$ ,  $x_2$  — расстояние от реки ближайшей и дальней скважин.

Когда такой эксперимент в натуре провести нельзя (криволинейность берега реки на участке водозабора, наличие инфильтрации и др.), сопротивление ложа реки или любого другого водоема может быть определено по результатам опытных откачек из куста береговых скважин, специально ориентированных по отношению к реке. Методика постановки такого рода опытных откачек и обработки их результатов рассмотрена в работах [36, 62, 118, 152]; по результатам откачек фильтрационное сопротивление ложа реки можно определить, например, по формуле (6).



Однако, независимо от того, как будет определяться фильтрационное сопротивление — по наблюдениям за уровнем воды в реке и в береговых скважинах (формула 73) или по откачке из куста береговых скважин (формула 6), проведение патурных исследований в русле (литологическая съемка, наливыв, откачки) не только имеет важное значение само по себе, но и необходимо для получения фактического материала с целью сопоставления и оценки

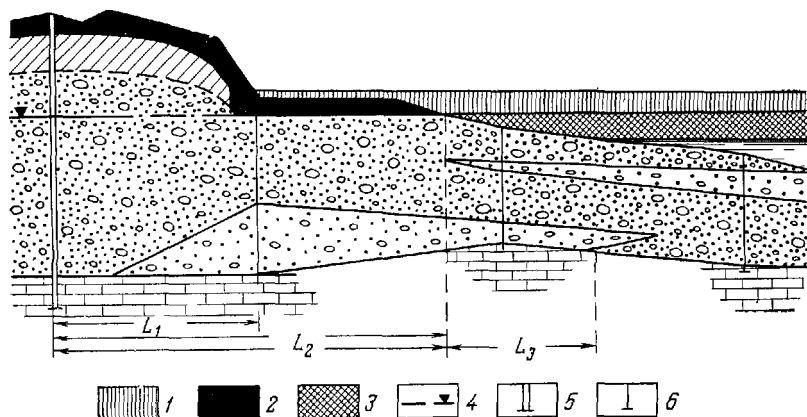


Рис. 31. Фрагмент поперечного геолого-литологического разреза высокой поймы и русла р. Китой на участке пысканий для инфильтрационных водозаборов.

1 — лед при бытовом уровне воды в реке; 2 — мерзлота; 3 — лед при горизонте воды в реке 97%-ной обеспеченности; 4 — ГВ 97%-ной обеспеченности; 5 — разведочная скважина на линии проектируемого водозабора; 6 — разведочные скважины.  $L_1$  — расстояние от проектируемого водозабора до границы водоносного пласта с постоянным напором при бытовом летнем уровне воды в реке,  $L_2$  — то же, зимой,  $L_3$  — то же, зимой при уровне воды в реке 97%-ной обеспеченности

степени достоверности результатов определения фильтрационного сопротивления русла любым другим методом.

Как отмечено выше, инфильтрационные водозаборы сооружают обычно из ряда линейно расположенных вдоль берега реки скважин. Понижение уровня воды в любой скважине ряда может быть определено по формуле [27]

$$S = H - \sqrt{H^2 - \frac{1}{\pi k} \left( Q_0 \ln \frac{2L_{\text{расч}}}{r_0} + Q_1 \ln \frac{\rho_1}{r_1} + Q_n \ln \frac{\rho_n}{r_n} \right)}, \quad (74)$$

где  $H$  — мощность водоносного горизонта на участке размещения проектируемого водозабора, определяемая от уровня воды в реке 95%-ной обеспеченности до водоупора;

$k$  — коэффициент фильтрации этого горизонта;

$Q_0, r_0$  — проектный дебит и радиус скважины, в которой определяется понижение;

$Q_1, Q_n; r_1, r_n$  — соответственно проектные дебиты других скважин водозабора и их расстояния от скважины, в которой определяется понижение;

$L_{\text{расч}}$  — расстояние от скважины, в которой определяется понижение уровня, до области питания (до границы пласта с постоянным напором), равное [10]:

$$L_{\text{расч}} = L + \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3. \quad (75)$$

Здесь  $L$  — фактическое, определяемое в натуре при изысканиях, расстояние от водозабора (от скважины водозабора, в которой определяется понижение) до уреза воды в реке;

$\Delta L_1$  — удлинение пути фильтрации воды из реки к водозабору, определяемое по смещению от берега в сторону русла уреза воды в реке при уровне 95%-ной обеспеченности;

$\Delta L_2$  — то же, в зимний период, обусловленное промерзанием берега и русла реки при уровне 95%-ной обеспеченности (рис. 31);

$\Delta L_3$  — то же, эквивалентное фильтрационному сопротивлению русла реки и обусловленное заиленностью русловых отложений, наличием в них глинистых прослоев и неполной врезкой русла в водоносный пласт.

$\rho_1, \rho_n$  — расстояние от скважины, в которой определяется понижение, до зеркальных отображений других скважин водозабора относительно уреза воды в реке, найденного по формуле (75).

## **ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ**

### **1. СОСТАВ И КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ СООРУЖЕНИЙ ПО ОТВЕДЕНИЮ И ОЧИСТКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД**

Назначением систем водоотведения (канализации) является сбор, очистка, обезвреживание, обеззараживание загрязненных производственных и бытовых сточных вод, их удаление (отведение) за пределы промышленных предприятий и населенных мест и последующее полное или частичное повторное использование в производственном процессе, утилизация или сброс в водотоки (водоемы). Такое назначение системы водоотведения обеспечивается комплексом взаимосвязанных инженерных сооружений, технических и санитарных мероприятий. Сточные воды подвергаются:

а) механической очистке (освобождению от отдельных крупных предметов загрязнений, взвешенных веществ минерального происхождения и взвесей органического состава);

б) химической очистке (переводу вредных растворенных веществ с помощью реагентов в осадок, вредных нерастворенных в растворенные безвредные, уменьшению концентрации вредных веществ, нейтрализации и обесцвечиванию);

в) физико-химической очистке, основанной на процессах — коагуляции (осветления и обесцвечивания сточных вод путем ввода в них реагентов), флотации (освобождения сточных вод от содержащихся в них примесей путем создания условий для их всплывания на поверхность сточной воды и удаления), сорбции (сбора на поверхности твердого тела — адсорбента, вводимого в сточные воды, органических веществ и газов), ионного обмена (извлечения из сточных вод катионов и анионов с помощью ионитов) и других искусственно создаваемых процессах,

г) биологической очистке (естественному и искусственному окислению и минерализации коллоидов, содержащихся в сточных водах в виде суспензий, и органических веществ, содержащихся в растворе);

Механическая очистка может быть самостоятельным, законченным циклом очистки, если после нее состав сточных вод отвечает санитарным нормам. В противном случае механическая очистка является лишь первичной стадией механико-химической, механико-биологической, механико-химико-биологической, или,

как называют этот комплексный метод, механико-биохимической очистки.

В настоящее время в связи с усложнившимся составом промышленных сточных вод и повышенными требованиями к охране водосемов и подземных вод от загрязнения всюду, как правило, предусматривается глубокая механико-биологическая очистка сточных вод, включающая механические, физико-химические и биологические методы. При этом для интенсификации процесса очистки промышленных сточных вод их очистку производят совместно с хозяйственно-бытовыми сточными водами. В состав сооружений комплексной механико-биохимической очистки сточных вод входят (по движению сточных вод в процессе очистки):

- решетки с дробилкой, помещаемые в специальном здании и служащие для задержания и дробления содержащихся в сточных водах крупных предметов загрязнений. Здание решеток — прямоугольное в плане, размеры его зависят от расхода воды, подаваемой на очистку. При расходе, например,  $1\text{--}3\text{ м}^3/\text{сут}$  размеры здания решеток с механической очисткой  $12 \times 24\text{ м}$  [73];

- песколовки для выделения из сточных вод тяжелых минеральных примесей, прошедших через решетки. Горизонтальные песколовки — удлиненные в плане емкостные железобетонные сооружения с двумя—четырьмя отделениями длиной  $9\text{--}18\text{ м}$  и шириной  $1,25\text{--}4,5\text{ м}$ . Вертикальные песколовки — железобетонные емкостные круглой формы сооружения диаметром  $4\text{--}6\text{ м}$ , высотой до  $5\text{ м}$ ;

- отстойники первичные для выделения из сточных вод грубодисперсных примесей, что достигается в результате оседания тяжелых примесей на дно отстойника и всплывания легких на поверхность сточной жидкости. Первичные отстойники на очистных сооружениях канализации в конструктивном отношении в основном такие же, как и на очистных сооружениях водопровода (см. гл. II), — емкостные сооружения из сборного железобетона размером: горизонтальные — длиной  $24, 30, 36, 42\text{ м}$  и более, шириной  $6, 9\text{ м}$ , высотой  $4\text{ м}$ , вертикальные — диаметром  $4, 6, 9\text{ м}$  и высотой соответственно  $5,9; 6,9; 9,3\text{ м}$ , радиальные — диаметром  $18\text{--}54\text{ м}$  и высотой до  $6,5\text{ м}$ ;

- аэротенки — сооружения собственно биологической очистки сточных вод от содержащихся в них растворенных органических веществ. Очистка осуществляется в процессе медленного течения в сооружении предварительно отстоянной сточной жидкости в смеси с активным илом. В сооружение подается воздух для поддержания ила во взвешенном состоянии и активизации процесса окисления органических веществ. Аэротенк — вытянутое в плане сооружение из сборного железобетона, имеющее в зависимости от расхода стоков ширину  $6\text{--}12\text{ м}$ , длину  $36\text{--}130\text{ м}$ , рабочую глубину  $4\text{--}5\text{ м}$ . Аэротенки располагают группами до 20 секций;

- вторичные отстойники (горизонтальные, вертикальные, радиальные) — сооружения, аналогичные первичным отстойникам

и служащие для улавливания ила, который поступает из аэротенков вместе с водой, очищенной от органических примесей. На крупных очистных сооружениях применяют радиальные отстойники диаметром 18—50 м и общей высотой около 4—6 м,

— сооружения для обеззараживания сточных вод — предназначены для уничтожения патогенных бактерий, уцелевших в аэротенках. В состав их входят смесители, в которые сточные воды поступают из вторичных отстойников, здание хлораторной, где приготавливаются и хранятся реагенты (хлорная известь, жидкий, газообразный хлор), вводимые в сточные воды перед смесителем, и контактные резервуары, обеспечивающие необходимый контакт сточных вод с обезвреживающим реагентом. Смесители — суженные или перегородженные на пути движения сточных вод (между вторичными отстойниками и контактными резервуарами) железобетонные лотки, в которых за счет сужения или перегородок создается турбулентный поток для более полного смешения хлорной воды со сточной. Здание хлораторной одноэтажное из сборного железобетона, размером до 12 × 36. Контактные резервуары аналогичны первичным резервуарам.

Когда обезвреживание сточных вод осуществляется иными способами, например электролизом или озонированием, в состав очистных сооружений входят электролизные установки (емкости для хранения раствора поваренной соли, эрлифты, воздухоотделители, дозаторы-смесители, газосборники, электролизеры и др.) и озонаторы.

После обеззараживания сточные воды могут быть использованы в оборотном водоснабжении, поданы на поля орошения или сброшены в водоемы (водохранилища). При необходимости, вызванной санитарными и рыбохозяйственными условиями, а также при высокой концентрации загрязнений и их трудноокисляемом составе сточные воды подвергаются двухступенной биологической очистке. В этом случае после вторичных отстойников размещается вторая ступень аэротенков, третичные отстойники и далее сооружения по обеззараживанию. Иногда после первой и даже после второй ступени биологической очистки сточные воды подаются на доочистку на специальные песчаные фильтры или в аэрационные биологические пруды и лишь затем на обеззараживание и использование или на сброс в водоемы.

В последнее время в практику биологической очистки сточных вод внедряются вместо аэротенков новые сооружения — окситенки с применением для окисления органических веществ чистого кислорода. Они представляют собой круглой формы резервуары, разделенные цилиндрической перегородкой на зону аэрации (внутренняя часть резервуара) и зону отделения ила (внешняя часть).

Для биологической очистки сточных вод применяются биологические фильтры (вместо аэротенков или в качестве первой ступени при двухступенной очистке наряду с аэротенками) — сооружения, загружаемые фильтрующим материалом (шлаком, гравием, керам-

зитом, щебнем, обломками пластмассы и асбестоцемента), на поверхности которого по мере фильтрации стоков образуется биологическая пленка из колоний микроорганизмов. Биофильтры имеют прямоугольную или круглую форму, площадь до 1000 м<sup>2</sup> и более

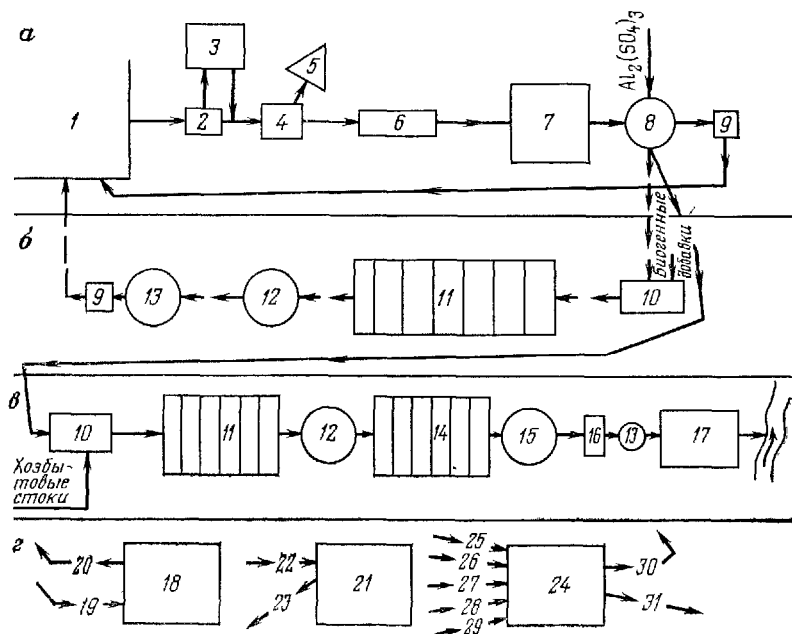


Рис. 32. Схема очистки и отведения производственных сточных вод нефтеперерабатывающих заводов.

*а* — очистка сточных вод 1-й системы канализации на действующих заводах; *а + б* — то же, проектируемая с 1970 г.; *а + в* — очистка сточных вод 2-й системы канализации; *г* — сооружения приема сточных вод в случае аварии на очистных сооружениях, приема и отведения ливневых вод и жидких шламов.

1 — завод; 2 — ливнесбор; 3 — аварийный амбар; 4 — песколовка; 5 — бункер для песка; 6 — нефтеловушка; 7 — пруды дополнительного отстоя (в новых проектах — отстойники); 8 — песчаные фильтры или флотационная установка; 9 — насосная станция; 10 — смеситель; 11 — аэротенки; 12 — вторичные отстойники; 13 — фильтры; 14 — аэротенки 2-й ступени; 15 — третичные отстойники; 16 — озонатория; 17 — буферный пруд; 18 — аварийная емкость; 19 — неочищенные стоки с завода при аварии на очистных сооружениях; 20 — возврат стоков в голову очистных сооружений; 21 — пруд ливневых вод; 22 — поступление ливневых вод с незастроенных территорий завода; 23 — сброс этих вод в водоем или подпочва в систему оборотного водоснабжения; 24 — шламоаккумулятор; 25 — поступление осадка от очистки нефтяных резервуаров; 26 — то же, с завода от блоков оборотного водоснабжения; 27 — вода и взвеси от промывки фильтров или пена и осадок от флотаторов; 28 — осадок из песколовок; 29 — то же, из нефтеловушек; 30 — возврат жидкой фазы в нефтеловушки 2-й системы; 31 — шлак на сжигание в новых проектах

и высоту до 4—5 м (высоконагружаемые биофильтры с подачей в них воздуха называются аэрофильтрами).

В системе очистных сооружений для более полного отстаивания взвесей в отдельных случаях предусматривается размещение перед первичными отстойниками аэраторов, роль которых могут выполнять каналы, подводящие стоки к первичным отстойникам, или специальные резервуары — преаэраторы, устанавливаемые

на пути движения стоков также перед первичными отстойниками. Когда аэрация осуществляется с добавкой избыточного ила, подаваемого из вторичных отстойников (после биофильтров или аэротенков), процесс аэрации обретает сущность биokoагуляции, а сооружения (аэраторы, преаэраторы) называются биokoагуляторами. При очистке сточных вод образуется значительный объем осадка, состоящего из твердой и жидкой фаз.

При использовании осадка для его обработки в системе очистных сооружений предусматриваются вакуум-фильтры, септики, двухъярусные отстойники, метантенки. Все эти сооружения емкостные, различного размера и формы (двухъярусные отстойники цилиндрической формы диаметром 6—12 м, высотой 8,5—10,2 м, метантенки диаметром до 24 м, высотой до 15 м).

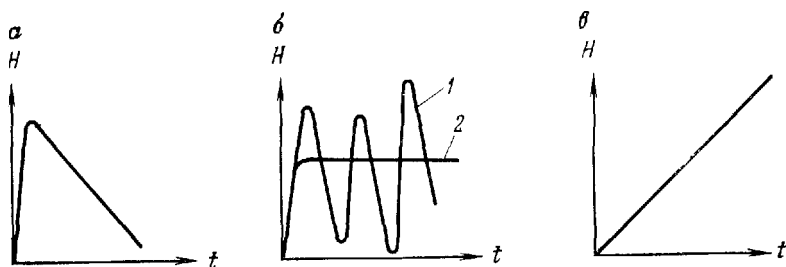


Рис 33 Графики изменения уровней простокров в земляных емкостях системы канализации НПЗ при их эксплуатации (к рис 32).

а — в емкостях 3, 18, 21, б — в емкости 17, в — в емкости 24

1 — при накоплении и сбросе в паводок, 2 — при сбросе транзитом

Перечисленный выше комплекс сооружений по очистке сточных вод в зависимости от вида и состава вод применяется в практике водоотведения в том или ином их сочетании. На рис. 32 и 33 приведены некоторые схемы сооружений, применяемые для очистки сточных вод предприятий нефтеперерабатывающей и химической промышленности, а на рис. 34 — графики изменения уровней простокров в земляных сооружениях канализации НПЗ при их эксплуатации.

Сточные воды от объекта-стокообразователя подводятся к очистным сооружениям по трубопроводам-коллекторам, сооружаемым чаще всего из железобетонных безнапорных (при движении стоков самотеком) и напорных (при напорном движении) труб. Самотечные коллекторы устраивают и из сборных железобетонных элементов. В этом случае их сечение может быть овальным, четырехугольным. При прокладке коллекторов в тоннелях, проходимых щитовым способом, они сооружаются из железобетонных тубингов. В зависимости от расхода сточных вод коллекторы сооружаются в одну или две нитки из труб диаметром от 0,4 до 4 м или из сборных унифицированных элементов сечением до  $3 \times 4$  м.

Все сооружения по очистке сточных вод на месте их размещения соединены между собой трубопроводами, лотками, каналами





различного размера. При очистных сооружениях строятся насосные станции, котельные, воздуходувки, газгольдеры, а также административный корпус, лаборатория, бытовки и другие подсобные здания.

Отвод из очистных сооружений очищенных сточных вод осуществляется также по трубопроводам-коллекторам. При сбросе очищенных сточных вод в водотоки (водоемы) в их акваториях устраиваются рассеивающие выпуски. На подводящих и отводящих коллекторах сооружаются колодцы (смотровые, поворотные, узловые, контрольные, перепадные, промывные) из железобетонных колец диаметром на 300—400 мм больше диаметра коллекторов. В местах пересечения коллекторами рек, каналов, оврагов, железных и автомобильных дорог сооружаются дюкеры, эстакады.

Таким образом, очистные сооружения сточных вод представляют собой сложный комплекс взаимосвязанных наземных и подземных устройств, для проектирования и строительства которых выполняется значительный объем инженерно-геологических и гидрогеологических исследований на площадях в десятки, а иногда и в сотни гектаров.

## **2. СОСТАВ И ОБЪЕМ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Характер инженерно-геологических и гидрогеологических условий застраиваемых площадок в пределах одной климатической зоны определяется морфологией и геолого-литологическим строением мест их размещения. Исходя из этого, можно было бы лишь путем рекогносцировочного обследования местности выбрать для дегальных исследований площадку под очистные сооружения с простыми, благоприятными инженерно-геологическими условиями. В практике проектирования такая возможность, к сожалению, исключена, поскольку при выборе мест размещения этих сооружений приходится учитывать следующие технико-экономические и природные факторы: очистные сооружения должны располагаться по возможности вблизи объекта канализации; подвод сточных вод к очистным сооружениям и их отвод желательно осуществлять самотечным путем с возможно минимальным заглублением сооружений, а при напорной подаче — на местности с минимальным относительным превышением высот; очистные сооружения желательно располагать на непросадочных, некарстующихся породах, вдали от населенных мест, водозаборов подземных вод, лесных массивов, вблизи мест утилизации очищенных сточных вод или мест их сброса в водоемы, на непригодных для сельскохозяйственного использования землях.

Технико-экономической оценкой того или иного сочетания перечисленных факторов находится наиболее выгодный вариант размещения очистных сооружений. Однако осуществить такой вариант на практике не всегда возможно, поскольку среди под-

лежащих учету факторов земля для размещения сооружений является в настоящее время главным фактором. В связи с этим в последние годы для размещения сооружений по очистке сточных вод отводятся, как правило, земли, непригодные для сельскохозяйственных угодий или трудно для этих целей осваиваемые. В зонах умеренного климата это главным образом заболоченные заторфованные участки земли, в аридных зонах — солончаки, солонцы, соры, такры, площади барханных песков.

На таких участках инженерно-геологические условия неблагоприятны, грунты невыдержаны по характеру напластования, резко неоднородны по свойствам в пределах одного литологического слоя, в большинстве случаев слабые или могут оказаться слабыми при неизбежном их увлажнении в процессе строительства и эксплуатации сооружений.

При строительстве очистных сооружений на подобных участках, характеризующихся повышенной чувствительностью грунтов основания к неравномерным осадкам, нередко приходится предусматривать в одних случаях сплошную или частичную (под отдельные сооружения) выемку слабых грунтов и их замену песчаными, в других — создание грунтов на естественной поверхности площадки несущего и дренирующего слоя намывом или насыпкой с уплотнением, в третьих — применение оснований из песчаных дрен, свайные основания.

Все эти мероприятия по обеспечению устойчивости сооружений являются дорогостоящими и требуют при выборе из них наиболее рационального надежного инженерно-геологического обоснования. С этой целью при изысканиях должны быть выявлены: морфолого-генетические особенности участка размещения сооружений, развитие в его пределах физико-геологические процессы и явления, характер напластования грунтов, мощность и литологический состав отдельных слоев, характер обводненности грунтов, наличие и режим водоносных горизонтов, физическое состояние грунтов в натуре, их водопроницаемость, физико-механические, водные, деформационные и прочностные свойства (гранулометрический состав, объемная масса грунтов и их скелета, плотность, пористость, показатели пластичности, степень водонасыщенности, содержание растворимых солей, гумуса, характер уплотнения грунтов под нагрузками во времени, модуль деформации, сопротивление сдвигу), коррозионные свойства грунтов, агрессивность грунтовых вод.

Инженерно-геологические условия площадок очистных сооружений изучаются общепринятыми методами разведочных и опытных полевых и лабораторных работ: бурением скважин, прокладкой шурфов, испытанием грунтов штампами, зондированием, постановкой и проведением опытных откачек и наливов, отбором проб грунтов и грунтовых вод и их исследованием.

При определении объемов разведочных работ на участках со сложными геолого-литологическими условиями рекомендуется шаг

между разведочными выработками для общего изучения площадки принимать не более 50 м, а под отдельные сооружения (резервуары, насосные станции) проходить дополнительно по три—пять выработок с учетом ранее пройденных. На участках размещения вытянутых в плане сооружений и располагаемых группами (секциями) на одном фундаменте-плите шаг между выработками может быть с учетом ранее пройденных выработок не более 25—30 м. В сложных инженерно-геологических условиях такая густота разведочных выработок не должна считаться излишней. Из опыта изысканий и проектирования очистных сооружений известно немало случаев, когда разведка пойменных или прибрежных морских участков с шагом между скважинами 30—40 м оказывалась недостаточной; при вскрытии грунтов здесь котлованами под проектируемые сооружения выклинивание отдельных прослоев грунтов или фациальное их изменение фиксировалось на расстояниях 10—15 м. В таких случаях остановка строительства для уточнения проекта подземной части сооружения или для поисков нового места для его расположения приводит к материальным потерям, во много раз превышающим затраты на кажущуюся «излишне» детальную разведку перед проектированием.

На участках с простым геолого-литологическим и гидрогеологическим строением (древние террасы речных долин, платообразные водоразделы) шаг между разведочными выработками при общем изучении площадки принимается 100 м, а под отдельные сооружения (резервуары, насосные станции) проходят дополнительно по две-три выработки; под аэротенки проводят дополнительную разведку с шагом не более 50 м.

На площадках проектируемого размещения сооружений по очистке сточных вод инженерно-геологические исследования для выявления строительных свойств грунтов проводятся одновременно по единой программе с рассмотренными в гл. IX гидрогеологическими исследованиями для прогноза уровня режима грунтовых вод и возможного обводнения (самоподтопления) площадок, а опробование грунтов — по рекомендациям, приведенным в гл. VIII. Это практически всегда обеспечивает получение фактических данных, достаточных для учета в проекте инженерно-геологических особенностей площадки в плане и по глубине.

На трассах канализационных коллекторов шаг между разведочными выработками при неблагоприятных (сложных) морфологических и геолого-литологических условиях следует принимать не более 100 м. При резком отличии состава и состояния грунтов по соседним выработкам между ними должны быть пройдены дополнительные выработки. При благоприятных инженерно-геологических условиях выработки на трассе коллекторов могут быть размещены с шагом 250—300 м. При этом должен быть применен в полной мере геоморфологический метод исследований трасс линейных сооружений, изложенный в гл. II.

Глубина разведочных и опытных выработок для исследования грунтов основания сооружений систем канализации и очистки сточных вод в общем случае составляет 10—15 м. При близком взаимном расположении сооружений, когда зона сжатия грунтов основания определяется общей площадью, занимаемой группой сооружений и весом каждого из них, глубина выработок может быть и больше указанных величин. В таких случаях необходимую глубину выработок следует определять по схеме расчета осадок сооружений и указывать в задании на изыскания. Отмеченное в равной мере относится и к сооружениям водопровода, описанным в гл. II

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗЕМЛЯНЫХ СООРУЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ВОДООТВЕДЕНИЯ

### 1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

До начала 30-х годов нашего столетия, когда практически не было сооружений по очистке сточных вод, бытовые и производственные сточные воды частью поглощались грунтами на территориях городов и промышленных предприятий, частью сбрасывались по сточным канавам в овраги, реки, озера. Так же сбрасывались в водоемы и водотоки хвосты, шламы и зола с предприятий горно-рудной и металлургической промышленности.

Таким образом, в этот период источники в гидрогеологическом понимании загрязнения подземных и поверхностных вод территориально совпадали с объектами образования загрязнителей — городами и промышленными предприятиями.

Поскольку в то время уровень развития промышленности и благоустройства городов был невысок, загрязнение водоемов и подземных вод особенно не ощущалось, хотя уже тогда начали загрязняться некоторые реки и подземные воды на отдельных участках.

В дальнейшем с развитием промышленности и повышением уровня благоустройства городов и поселков значительно увеличилось водопотребление, вместе с ним возросло количество и усложнился состав сточных вод, сбрасываемых в водоемы. В силу этого реки начали заметно загрязняться различного рода химическими (органическими и минеральными) веществами и заиливаться хвостами, шламами и золой. Начали загрязняться и подземные воды, связанные с речными.

Для предотвращения этих явлений примерно с первой половины 30-х годов началось усиленное строительство очистных сооружений бытовой и производственной канализации, в составе которых в одних случаях в качестве основных, в других — в качестве промежуточных и конечных звеньев появились различного рода земляные емкости для отстоя, осветления, испарения, накопления и доочистки сточных вод перед сбросом их в водоем или перед использованием в оборотном водоснабжении. С той же целью, а также в расчете на последующее доизвлечение металла и утилизацию полезных для народного хозяйства отходов горно-

рудного производства \* прекратился сброс в водоемы хвостов, шламов и золы и началась укладка их в специально отводимые для этого места. В связи с этим появились такие сооружения, как пруды-отстойники, осветлители, накопители, накопители-испарители, шламонакопители, хвосто- и шламохранилища, золо- ишламоотвалы, «белые моря», поля фильтрации, поля орошения, куда поступают промышленные и бытовые сточные воды после специальной их очистки (механической, биохимической) в расчете на сброс их в водоемы, на фильтрацию в грунты или на использование в оборотном водоснабжении.

Таким образом, загрязнители водоемов и подземных вод остались прежние — производственные и хозяйственно-бытовые стоки, а основные сосредоточенные источники загрязнения территориально переместились от мест образования загрязнителей (предприятий и городов) иногда на десятки километров. Площади размещения населенных пунктов и промышленных предприятий в той или иной мере остаются и в настоящее время источниками загрязнения подземных и поверхностных вод, но центр тяжести в этом смысле переместился в основном на площади расположения земляных сооружений для сбора и складирования жидких и твердых отходов промышленности и хозяйственно-бытовых отходов. С появлением таких сооружений прямое загрязнение подземных вод и водоемов сточными водами значительно сократилось, но полностью не прекратилось, поскольку сточные воды из этих сооружений в той или иной мере теряются на фильтрацию в грунты и по ним попадают в водоносные пласты и связанные с ними водоемы, обуславливая таким образом косвенное загрязнение последних.

Проблема борьбы с загрязнением водоемов и подземных вод сточными водами выдвигается на первое место, что нашло отражение в ряде специальных постановлений по вопросам упорядочения использования и усиления охраны водных ресурсов страны и защиты окружающей среды.

Охрана водоемов и подземных вод от загрязнения промстоками ведется по ряду направлений:

- снижение водопотребления предприятиями на 1 т изготавливаемой продукции и уменьшение объема водоотведения,

- изменение существующих технологических процессов производства в расчете на снижение степени вредности промышленных сточных вод;

- максимальное использование сточных вод в оборотном водоснабжении;

- совершенствование методов очистки сточных вод;

---

\* При усовершенствовании методов обогащения из хвостов и шламов может быть извлечен остающийся в них при современных методах обогащения металл. Кварцевые хвосты используются в настоящее время в качестве флюсов, хвосты, содержащие глинозем, как сырье для получения алюминия, хвосты, содержащие пирит, — для производства серной кислоты.

- создание бессточных систем канализации;
- захоронение промышленных сточных вод в глубокие водонесные комплексы;
- сжигание особо вредных стоков в специальных установках;
- ликвидация существующего и прогноз возможного загрязнения водоемов и подземных вод промстоками и разработка защитных мероприятий.

Последнее, как и задачи, связанные с созданием хранилищ промышленных сточных вод в земной коре на больших глубинах, может решаться лишь на базе специальных гидрогеологических и геохимических исследований и расчетов фильтрации, изменения химического состава и метаморфизации этих вод на пути движения в грунтовых средах.

Промышленные сточные воды по составу содержащихся в них загрязнителей делятся на четыре группы [108]:

1) содержащие неорганические примеси со специфическими токсическими свойствами. К этой группе относятся сточные воды содовых, сернокислотных, азотнотуковых заводов, заводов черной металлургии, машиностроительных предприятий, рудообогатительных фабрик свинцовых, цинковых, никелевых руд и др. В сточных водах этой группы содержатся растворимые и нерастворимые неорганические вещества — соли, щелочи, кислоты, мышьяк, медь, свинец и другие тяжелые металлы, окислы и гидроксиды металлов, сероводород, сернистые соединения;

2) содержащие неорганические примеси без специфических токсических свойств. К ним относятся сточные воды углеобогачительных фабрик, рудообогатительных фабрик кварцевых и марганцевых руд и др. В этих сточных водах содержатся взвешенные минеральные вещества и мелкие частицы пустой породы;

3) содержащие органические примеси без специфических токсических свойств. Сюда относятся сточные воды дрожжевых, пивоваренных, картофельно-крахмальных, сахарных заводов и др. Основные загрязнители в них — нетоксичные органические вещества;

4) содержащие органические примеси со специфическими токсическими свойствами. В эту группу входят сточные воды химических, коксохимических, газосланцевых, нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов. В них наряду с нетоксическими загрязнениями содержатся ядовитые вещества: красители, смолы, фенолы, спирты, альдегиды, нефтепродукты, сернистые соединения, сероводород и др.

В особые группы можно выделить: а) бытовые сточные воды, в составе которых наряду с минеральными содержится большое количество органических веществ (белков и продуктов их распада, жиров и углеводов), а также бактерий в количестве, измеряемом десятками миллионов экземпляров в 1 см<sup>3</sup> сточной жидкости; б) радиоактивные жидкие отходы.

Промышленные и бытовые сточные воды в зависимости от их состава, технологической схемы очистки, отведения и использования подаются, как отмечено выше, в тот или иной тип земляных сооружений для доочистки, отстоя, повторного использования, последующего сброса их в водоемы, полива сельскохозяйственных культур или фильтрации их в грунты.

Тип земляных сооружений определяется также видом промышленного производства — стокообразователя. Так, в составе сооружений водоотведения от предприятий горнорудной, металлургической, угольной, теплоэнергетической, содовой и содово-цементной промышленности, где образуются стоки типично двух-фазной системы, обязательно устройство хвосто- и шламохранилищ, гидрозолоотвалов и «белых морей», а в системе канализации предприятий нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, целлюлозно-бумажной, пищевой и других отраслей промышленности, где образуются жидкие практически однофазные стоки, — устройство прудов-накопителей, прудов-испарителей, отстойников, полей фильтрации. При утилизации бытовых стоков сооружаются земледельческие или коммунальные поля орошения.

Для общего представления об этих сооружениях и о масштабах, характере и граничных условиях фильтрационных полей, создающихся при фильтрации стоков из сооружений, ниже приводятся краткие сведения об их устройстве, размерах, форме, конструктивных особенностях, составе поступающих в них сточных вод и режиме эксплуатации, подлежащие учету при изысканиях и проектировании.

Отметим, что в отношении терминологии, определяющей наименование сооружений, в которые сбрасываются жидкие и твердые отходы горнорудной и металлургической промышленности, строгих понятий не сложилось. Так, сооружения для складирования жидких и твердых отходов от обогащения руд черных и цветных металлов в работе [61] называются хвостохранилищами. Такой же терминологии придерживается и Механобр. Гипроцветмет сооружения для сбора и складирования отходов от обогащения руд цветных металлов называет шламохранилищами. Украинский научно-исследовательский институт строительного производства отходы от обогащения железных руд именует шламами, хвостами [123], а ВНИИ Водгео сооружения по складированию отходов от обогащения руд любых металлов (черных, цветных) называет в работе [127], изданной в 1965 г., хвостохранилищами, а в той же работе, изданной в 1971 г., — шламохранилищами.

Шламохранилищами, а иногда и прудами-осветлителями или шламонакопителями называют и сооружения, в которые отводятся стоки металлургических заводов [150].

Не задаваясь целью упорядочения отмеченной терминологии, условимся называть в дальнейшем х в о с т о х р а н и л и щ а м и сооружения, в которые отводятся жидкие и твердые



отходы (хвосты) от обогащения всех видов руд, а шламо-хранилищами — сооружения, в которые отводятся жидкие и твердые отходы от предприятий металлургической, металлообрабатывающей и машиностроительной промышленности. Слабой стороной этого деления является то, что в отличие от термина «хвостохранилище», в котором понятие «хранилище» полностью оправдывается назначением сооружения (хранить хвосты для возможной переработки их в будущем), термин «шламохранилище» в смысле «хранилище» не всегда оправдывается назначением сооружения, поскольку хранить шламы в большинстве случаев не требуется; шламы в таком сооружении накапливаются как ненужные отходы производства \*. Все же использование предлагаемой нами терминологии, как нам кажется, необходимо, так как шламохранилища отличаются от хвостохранилищ существенно иным составом поступающих в них жидких и твердых отходов производства. В то же время от шламонакопителей и прудов-осветлителей, устраиваемых обычно в системах канализации таких производств, где в составе сточных вод шламы играют значительно более подчиненную роль, чем в составе стоков предприятий металлургии, шламохранилища отличаются своими масштабами, способом возведения и эксплуатации.

## **2. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕМЛЯНЫХ СООРУЖЕНИЙ И СТОКОВ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ**

Пруды-отстойники, пруды-накопители (буферные пруды), пруды — накопители-испарители, аварийные емкости, пруды ливневых вод, шламонакопители имеются в системах промышленной канализации предприятий нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей, пищевой промышленности и др. Все они представляют собой земляные полностью или частично заглубленные и обвалованные емкости и содержат постоянно или периодически промышленные сточные воды различной степени загрязненности и поэтому в той или иной мере являются источниками загрязнения подземных вод.

Приведем некоторую характеристику этих сооружений на примере систем канализации нефтеперерабатывающего и химического заводов, где этот тип сооружений представлен наиболее полно. Образующиеся на нефтеперерабатывающих заводах сточные воды делятся на две основные системы. Стоки этих систем очищаются и отводятся раздельно. К первой системе стоков относятся: нефтесодержащие нейтральные сточные воды от конденсаторов смешения и скрубберов технологических установок, продувочные воды с блоков оборотного водоснабжения и ливневые

---

\* На ряде металлургических заводов шламы из ранее заполненных шламохранилищ используются для изготовления шлакоблоков

воды с территории производственных цехов, также содержащие нефтепродукты и механические примеси. Ко второй системе стоков относятся:

- нефте- и соледержащие сточные воды от электрообессоливающих установок и сырьевых резервуарных парков;

- ливневые воды с площадок и сырьевых парков;

- сернисто-щелочные нефтесодержащие воды от аппаратов по защелачиванию нефтепродуктов при их очистке от сернистых соединений;

- кислые сточные воды от установок сернокислотного алкирования, цехов производства серной кислоты, присадок и др., загрязненные минеральными кислотами;

- кислые сточные воды от цехов синтетических жирных кислот, содержащие органические кислоты и парафин;

- сточные воды от цехов синтетического этилового спирта, производства сульфанола, установки карбамидной депарафинизации дизельного топлива и других нефтехимических производств, содержащие органические соединения (дихлорметан, карбамид и азотистые соединения);

- сточные воды, содержащие тетраэтилсвинец, отводимые от установок этилирования бензина;

- шлам от зачистки нефтяных резервуаров, от блоков оборотного водоснабжения, из песколовок, нефтеловушек, от фильтров, пена и осадок от флотореагентов (если они используются вместо фильтров).

На всех действующих в настоящее время нефтеперерабатывающих заводах сточные воды первой системы подвергаются очистке в сооружениях, показанных в гл. V на рис. 32, а, и возвращаются на завод в систему оборотного водоснабжения. На новых заводах, которые строятся после 1970 г., стоки этой системы подвергаются дополнительной одноступенной биологической очистке по схеме, показанной на рис. 32, а, б.

В составе сооружений по очистке стоков первой системы на действующих заводах имеются три земляные емкости. Первая из них — аварийный амбар 3 (см. рис. 32, а), куда сбрасываются стоки при интенсивных ливнях, когда их расход оказывается больше пропускной способности очистных сооружений. Наполнение аварийных амбаров происходит быстро, в течение времени прохождения ливня, а опорожнение — медленно, после ливня, с небольшим расходом в систему канализации перед песколовкой. Режим уровней сточных вод в аварийных амбарах характеризуется графиком на рис. 33, а.

Вторая земляная емкость 5 (см. рис. 32, а) — бункер, в который перемещается песок из песколовки, загрязненный нефтепродуктами. Третья емкость 7 — пруд (или пруды) дополнительного отстоя, через который проходят сточные воды самотеком. Хотя этот пруд расположен по движению стоков после нефтеловушки, в стоках, проходящих через него, содержится все еще

много нефти. В связи с этим в новых проектах они заменяются отстойниками из железобетона. Пруды дополнительного отстоя наполняются быстро (мгновенно) и эксплуатируются при постоянном уровне. График уровня сточных вод в них показан на рис. 33, б (кривая 1).

В состав сооружений очистки сточных вод второй системы входят пять земляных емкостей. Три из них такие же, как в первой системе стоков, и отличаются от них лишь составом стоков. Четвертой земляной емкостью является пруд 17 (см рис 32, в), в который принимаются промстоки в расчете или на сброс их

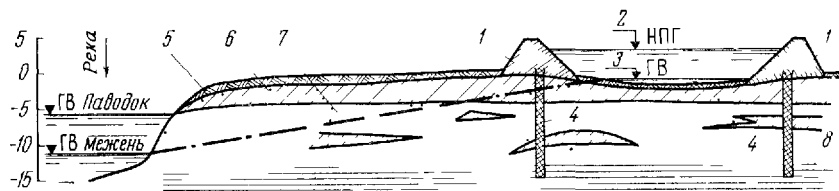


Рис 35. Пруд-накопитель-испаритель Кременчугского НПЗ

1 — дамбы обвалования, 2 — максимальный расчетный уровень промстоков, 3 — горизонт воды в озере солончаке до устройства пруда, 4 — противодиффузионная завеса из бентонитовых глин, 5 — почва, 6 — суглинки, 7 — пески с линзами супесей, 8 — глины

в водоем, или на испарение и сброс, или только на испарение. В зависимости от этого пруды называются накопителями, накопителями-испарителями, испарителями. Если из пруда идет постоянный сброс стоков в водоем транзитным путем, он называется буферным. Эти пруды занимают значительные площади — от нескольких квадратных километров до многих десятков квадратных километров. Размещаются они на пониженных местах рельефа и при необходимости обваловываются.

На рис. 35 показан пруд-накопитель-испаритель Кременчугского НПЗ. Площадь пруда около 4 км<sup>2</sup>, объем около 13 млн. м<sup>3</sup>. Пруд расположен в природных условиях, не допускающих даже малую степень загрязнения подземных вод и водоемов. В связи с этим по всему периметру пруда с поверхности и до глубины 13 м (с заглублением на 2 м в водоупор) сооружена противодиффузионная завеса из смеси бентонитовых глин с местным грунтом.

По количеству поступающих с завода сточных вод и климатическим условиям района расположения данного пруда-накопителя-испарителя срок его службы определен по расчету на испарение в 13 лет. Характер предполагаемого (расчетного) изменения уровня и солености сточных вод в нем за расчетное время эксплуатации показан на рис. 36.

На рис. 34 приведена схема очистных сооружений промышленной канализации одного из химических заводов. В сооружение 3 (см. рис. 34, а) поступают стоки первой группы. В них содержится (на выходе с завода перед поступлением в приемную камеру

очистных сооружений) около 13 тыс. мг/л минеральных кислот, около 9 тыс. мг/л окислов различных металлов и около 1 тыс. мг/л органических соединений. Перед поступлением этих стоков в шламонакопитель они все еще сильно загрязнены и содержат около 3 тыс. мг/л окислов металлов и около 400 мг/л органических соединений.

В сооружение 3 (см. рис. 34, б) подаются стоки второй группы, содержащие около 14 тыс. мг/л серной кислоты, 20 тыс. мг/л хлоридов, 4,5 тыс. мг/л сульфатов и около 3 тыс. мг/л органических соединений. На пути движения от завода до подачи на биологическую очистку и закачку в глубокие водоносные комплексы эти

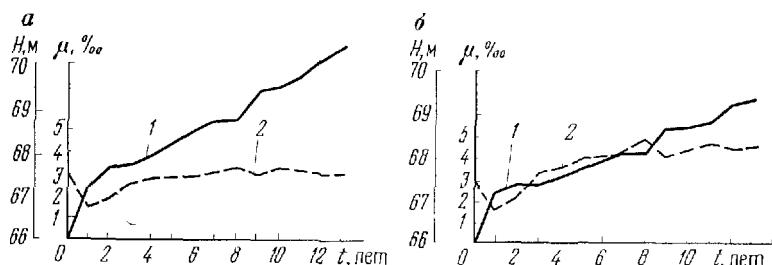


Рис. 36 Расчетные кривые изменения уровня и солености промышленных сточных вод НПЗ в пруде-накопителе-испарителе за расчетный период его эксплуатации.

а — влажный период, б — засушливый период  
1 — уровни протомстоков, 2 — минерализация протомстоков

сточные воды проходят через ряд земляных сооружений с достаточно благоприятными условиями фильтрации в грунты. Поэтому задача по определению величины фильтрационных потерь, прогнозу изменения качества грунтовых вод и выбор противофильтрационных мероприятий для защиты от загрязнения протомстоками почв и грунтовых вод является в подобного рода случаях особо актуальной.

### Поля орошения и поля фильтрации

Поля орошения представляют собой наиболее ранний в практике водоотведения тип сооружений для очистки и обезвреживания сточных вод. Различают два типа полей орошения: коммунальные (КПО) и сельскохозяйственные (ЗПО).

Коммунальные поля орошения представляют собой «санитарно-технические сооружения, предназначенные для очистки сточных вод и используемые для сельскохозяйственного производства» [44]. Это участки земли, разделенные на отдельные поливные карты, тщательно спланированные и обустроенные постоянной оросительной и дренажной самотечной сетью.

Земледельческие поля орошения представляют собой ирригационно-мелиоративные сооружения [105]. Это специально орга-

низованные земельные угодья колхозов и совхозов, орошаемые сточными водами для выращивания сельскохозяйственных овощных и зерновых культур.

Основное назначение КПО состоит в очистке и обезвреживании сточных вод, а производство сельскохозяйственных продуктов на них имеет подчиненное значение. Поэтому нормы нагрузки на эти поля устанавливаются из расчета обезвреживания максимально возможного в конкретных условиях количества сточных вод — от 30 до 90 м<sup>3</sup> на 1 га в сутки [44].

Основное назначение ЗПО — получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур и обезвреживание сточных вод. В соответствии с этим нормы нагрузки на ЗПО устанавливаются из расчета необходимого количества влаги и питательных веществ для выращивания данной культуры и составляет не более 5—20 м<sup>3</sup>/га в сутки. КПО требуют тщательной планировки горизонтальной поверхности карт, а ЗПО планируются под естественный уклон территории. По эффективности обезвреживания и очистке сточных вод КПО уступают ЗПО.

В отличие от коммунальных и земледельческих полей орошения поля фильтрации (ПФ) выполняют лишь функцию очистки и обезвреживания сточных вод. КПО и ЗПО размещают практически на любых типах почв, поля фильтрации — лишь на песчаных почвах или на массивах, лишенных почв и сложенных песками, т. е. на относительно хорошо водопроницаемых грунтах. Поля фильтрации также планируются, разбиваются на карты и обустриваются открытой распределительной и дренажной сетью. Нормы нагрузки на поля фильтрации значительно выше, чем на КПО, и еще выше, чем на ЗПО, и составляют от 90 до 300 м<sup>3</sup>/га в сутки. Очистка сточных вод на полях фильтрации менее эффективна, чем на ЗПО и КПО.

На описанных естественных очистных сооружениях — ЗПО, КПО и ПФ — очистка и обезвреживание сточных вод основаны на следующих очистительных свойствах почв и грунтов:

- 1) механической поглотительной способности почвогрунтов задерживать взвеси, содержащиеся в фильтрующейся через них воде;

- 2) физической поглотительной способности — молекулярной адсорбции растворенных в воде химических веществ на поверхности мелкодисперсных частиц почвогрунтов;

- 3) физико-химической поглотительной способности почвогрунтов к обмену катионов, содержащихся в составе почвенных коллоидов, на катионы, привнесенные в почвенный раствор сточными водами;

- 4) химической поглотительной способности (соединения анионов, содержащихся в почве, образуют с катионами, содержащимися в сточных водах, труднорастворимые соли);

- 5) биологической поглотительной способности, обусловленной жизнедеятельностью почвенных бактерий.

Таким образом, очистка и обезвреживание сточных вод на полях орошения и полях фильтрации происходят в результате сложного взаимодействия почвогрунтов, воды, воздуха и микроорганизмов. Потенциальная поглощающая способность различных типов, почв и почвогрунтов является их индивидуальным свойством, функцией всего комплекса факторов-почвообразователей.

До тех пор, пока использование этого свойства почв и почвогрунтов не превышает их возможности, очистка сточных вод на полях орошения и полях фильтрации достигает своей цели, не оказывая при этом отрицательного влияния на почвы, грунты и грунтовые воды. Критерием соблюдения условий нормального использования очистительной способности полей орошения являются поливные нормы. В практике эксплуатации ПО эти нормы нередко нарушаются, что приводит на орошаемых участках и прилегающих к ним площадях к повышению уровня грунтовых вод, заболачиваемости, снижению эффекта обезвреживания сточных вод и солевому и бактериальному загрязнению грунтовых вод. Так, по данным Харьковского института Водоканалпроект, в Донбассе на ряде участков, орошаемых бытовыми, производственными и шахтными водами, уровень грунтовых вод повышается на 0,3—0,4 м в год, а их минерализация увеличилась за время орошения в 2—5 раз по отношению к исходной до орошения. В составе грунтовых вод наиболее интенсивно идет накапливание ионов  $\text{Na}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ . При этом изменяется и тип грунтовых вод. Там, где до орошения воды относились к типу гидрокарбонатных, они стали сульфатными, а до орошения сульфатно-карбонатные перешли в сульфатно-натриевые. Наблюдается также загрязнение грунтовых вод органическими соединениями и бактериями.

Поля фильтрации могут являться источниками загрязнения подземных вод. Характерным примером в этом отношении служат поля фильтрации одного из заводов синтетического каучука, где произошло загрязнение водоносного горизонта поверхностно-активными и другими органическими и неорганическими веществами. Загрязненные подземные воды достигли ряда водозаборов, один из которых расположен на расстоянии 3 км от полей фильтрации на противоположном берегу реки.

### **«Белые моря»**

«Белые моря» предназначены для складирования жидких и твердых отходов от содовых и содово-цементных заводов. Отходы подаются в «белые моря» гидравлическим способом в виде пульпы в различных соотношениях  $T : Ж$ . «Белые моря» располагают на равнинной местности, на террасах и поймах рек и ограждают насыпными дамбами из суглинков.

Дамбы обвалования существующих «белых морей» (на заводах «Донсоды», «Славсоды» и Стерлитамакского содово-цементного

комбината) возведены насыпным способом из суглинков (на старом «белом море» «Донсоды» — из отходов добываемого в карьере сырья, недопала известковых печей угольного шлака и др.).

Дно и дамбы «белых морей» заводов «Донсоды» и «Славсоды» не экранированы, потери жидкости на фильтрацию здесь очень большие. По дну «белого моря» Стерлитамакского комбината уложен глиняный экран толщиной 0,4 м. Интенсивность фильтрации здесь ниже, чем из «белых морей» «Донсоды» и «Славсоды», но общий объем потерь также значительный.

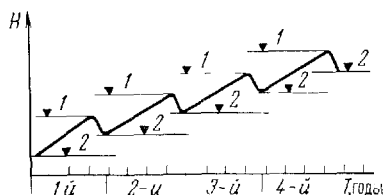
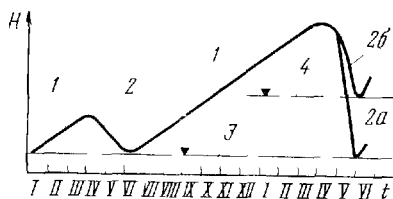


Рис. 37. График годового хода уровней промстоков в «белом море».

1 — накопление стоков; 2 — сброс в водоем; а — в нормальный по водности год, б — в маловодный год; 3 — исходный уровень нормальный; 4 — исходный уровень промежуточный

Рис. 38. График многолетнего хода уровней промстоков в «белом море».

1 — максимальные уровни промстоков в каждый последующий год перед сбросом их в водоток; 2 — уровни промстоков в каждый последующий год после сброса их в водоток

Режим работы «белых морей» (поступление пульпы и сброс жидкой фазы) определяется условиями работы завода и допустимыми для данного водоема нормами сброса в него стоков определенной концентрации загрязнений. Поскольку завод работает непрерывно и ритмично, поступление стоков в «белое море» происходит равномерно. Сброс же осветленной жидкости из него в водоток производится, как правило, лишь в половодье, когда в водотоке обеспечивается необходимое по нормам разбавление стоков. Так, объем выпуска осветленной жидкости из «белого моря» «Донсоды» в р. Северный Донец лимитирован по хлору, содержание которого в речной воде ниже выпуска стоков не должно превышать 350 мг/л. В связи с этим в маловодный год полностью опорожнить «белое море» от стоков, накопившихся со времени предыдущего паводка, не удастся.

Таким образом, режим работы «белого моря» характеризуется накоплением промстоков в течение 10—11 мес в году и сбросом их в водоем в течение 1—2 мес. В соответствии с этим изменяются и уровни промстоков в «белом море».

В период накопления промстоков может одновременно производиться сброс их в водоем. В количественном отношении сброс зависит от расхода воды в водотоке. В зависимости от последнего сброс промстоков может быть неравномерным в период общего их сброса в паводок. Таким образом, кривая уровней промстоков в «белом море» в годовом разрезе может иметь как на подъеме,

так и на спаде ступенчатый характер. В общем случае годовой ход уровней может быть охарактеризован графиком, показанным на рис. 37. В многолетнем разрезе по мере накопления в «белом море» твердых отходов производства уровень жидкости в нем систематически повышается; режим его характеризуется графиком, приведенным на рис. 38.

Основным сырьем для содового производства служат, как известно, известняки и раствор хлористого натрия. В соответствии

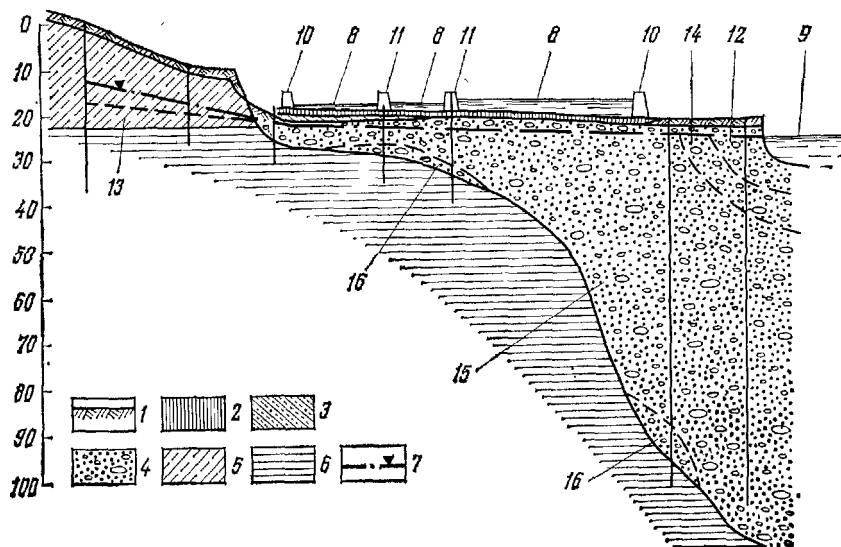


Рис. 39. Разрез по «белому морю».

1 — почва; 2 — глиняный экран; 3 — супеси; 4 — галечники; 5 — суглинки; 6 — глины; 7 — уровень грунтовых вод; 8 — уровни дистиллерной жидкости в «белом море»; 9 — горизонт воды в реке; 10 — дамбы обвалования; 11 — разделительные дамбы; зоны минерализации грунтовых вод (в г/л): 12 — до 1, 13 — до 3, 14 — до 10, 15 — до 50, 16 — выше 50

с этим сточные воды здесь загрязнены главным образом хлоридами, а также сульфатами, щелочами и механическими примесями (шламом). В связи с этим подземные воды в районах размещения «белых морей» загрязнены. Загрязнены также и водотоки как от прямого сброса в них этих стоков, так и от их попадания в водотоки по грунтовому потоку.

В «белое море» ежесуточно подается около 48 тыс. м<sup>3</sup> сточной жидкости, содержащей в своем составе: хлоридов (NaCl, CaCl, KCl) — около 140 г/л, сульфатов (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) — более 2 г/л, щелочей (Ca(OH)<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>OH) — более 7 г/л, шлама — более 160 г/л.

Характер изменения минерализации грунтовых вод показан на рис. 39.

Режим уровней этого «белого моря» показан на рис. 40.



Аналогичная картина засоления подземных вод имеет место и в районах расположения других «белых морей». Так, в районе «белого моря», показанного на рис. 41, минерализация подземных вод по пробам с глубины до 30 м достигает (по хлор-иону) более

Рис. 40. График изменения уровня жидкости в «белом море» в течение года.

АБ — накопление; БВ — накопление и сброс; ВГ — накопление; ГД — накопление и сброс; ДЕ — сброс; 1 — уровень в данный год; 2 — то же, в  $n$ -й последующий год

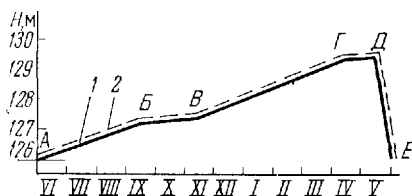
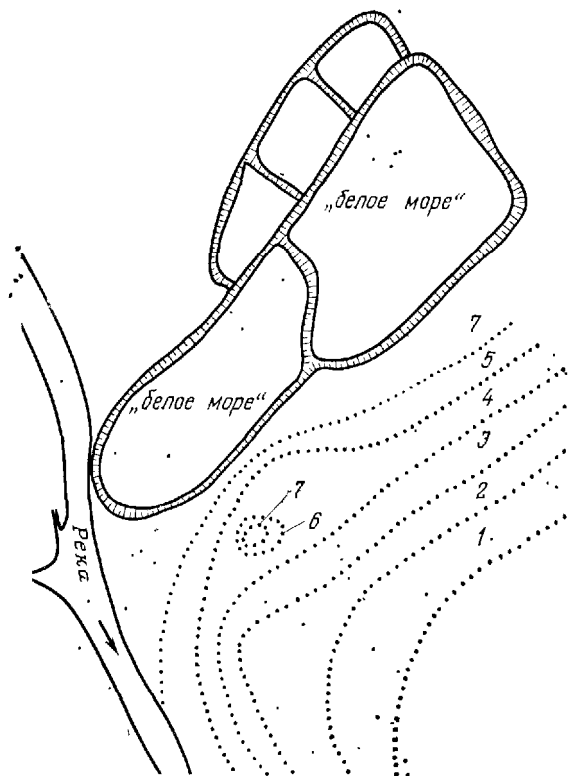


Рис. 41. Схематическая гидрохимическая карта.

Содержание хлор-иона в подземных водах (в г/л):  
1 — менее 0,5; 2 — от 0,5 до 1; 3 — от 1 до 2; 4 — от 2 до 5; 5 — от 5 до 10; 6 — от 10 до 25; 7 — более 25



25 г/л. В это «белое море» поступает около 4 млн. м<sup>3</sup> жидкости в год, содержащей около 500 тыс. м<sup>3</sup> хлористого кальция, около 250 тыс. м<sup>3</sup> хлористого натрия и около 800 тыс. м<sup>3</sup> шлама.

### Хвостохранилища

В зависимости от характера рельефа местности, на которой располагают хвостохранилища, они делятся на следующие типы:  
— равнинные, огражденные со всех сторон дамбами;

— пойменные, причлененные к уступу вышележащей террасы или коренному склону долины, огражденные с трех сторон дамбами. В случае расположения хранилища на пойме вдали от уступа вышележащей террасы или коренного склона оно, как и равнинное, ограждается со всех сторон дамбами;

— косогорные, расположенные на склонах водоразделов и, как и пойменные, огражденные дамбами с трех сторон, а с четвертой — косогором;

— овражно-балочные, создаваемые путем перегораживания оврагов и балок плотинами;

— балочно-равнинные, располагаемые на равнинах и водоразделах в пологих балках, ограждаемые по тальвегу балки плотинами, а по остальной части периметра — прерывистыми или сплошными дамбами.

Основная цель сооружения хвостохранилищ — прием отводимой от предприятия пульпы (смеси в соотношении 1 : 15—1 : 30 твердых минеральных частиц—отходов обогащения руд, угля с водой), выделение из пульпы ее твердой части и получение осветленной воды для оборотного водоснабжения.

Для осветления пульпы, первоначально подаваемой в хвостохранилище, в его пределах устраивается водный бассейн, объем которого обеспечивает требуемое осветление пульпы и вмещение годового количества ее твердой фазы. В связи с этим строительство хвостохранилищ осуществляется, как правило, в две очереди. В первую очередь строится первичная плотина или дамба обвалования насыпным или намывным способом (рис. 42), во вторую — намывные плотины из хвостов. При возведении плотин второй очереди намывом в верхнем бьефе первичной плотины (дамбы) на намытых перед ней хвостах предварительно устраиваются вторичные дамбы обвалования. Эти дамбы возводятся насыпным способом из хвостов или других привозных материалов.

Плотины хвостохранилищ устраиваются с дренажем, основное назначение которого состоит в отводе фильтрационного потока из тела и основания плотин и обеспечении их устойчивости (предотвращение суффозионного выноса материала из тела плотины и грунтов ее основания). Дренажи применяются различных типов: наклонные, призмные, ленточные, трубчатые, туюфячные. При высоких напорах на плотинах и наличии в основании плотин сильнофильтрующих грунтов, прикрытых в нижнем бьефе водонепроницаемыми или слабопроницаемыми грунтами, у плотин устраиваются горизонтальные или вертикальные разгрузочные дренажи.

Подача пульпы в хвостохранилища осуществляется по двум основным схемам: 1) от плотины (дамбы) к берегам; 2) от берегов к плотине, иногда по всему периметру хвостохранилища по так называемой кольцевой схеме. Сброс пульпы в хвостохранилища производится двумя способами: надводным и подводным. При первом способе пульпа из хвостохранилища вытекает на поверхность

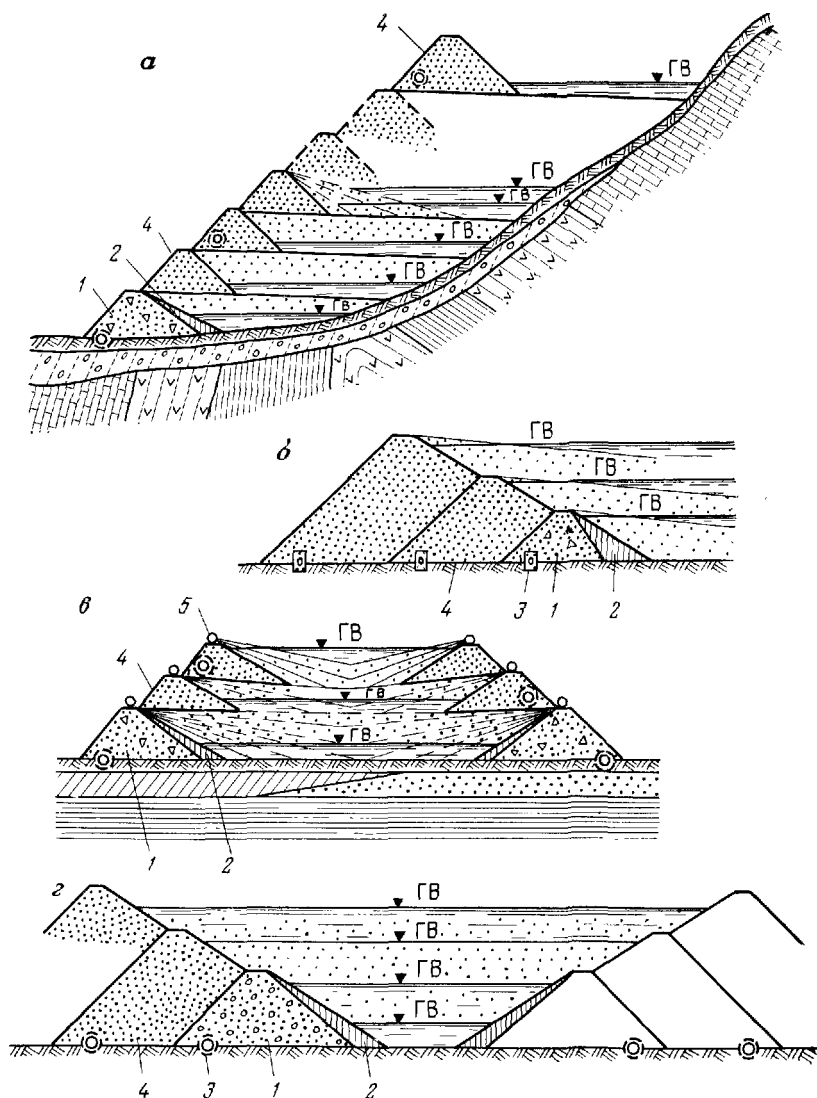


Рис. 42. Схемы перемещения осветлительного пруда и уровня воды в хвостохранилище при его эксплуатации.

*a* — при замыке хвостохранилища по схеме от плотины и наращивание плотин последующих очередей в сторону верхнего бьефа; *б* — то же, при наращивании плотин в сторону нижнего бьефа; *в* — при кольцевой схеме замыка и наращивании плотин в сторону верхнего бьефа; *г* — то же, при наращивании плотин в сторону нижнего бьефа.

1 — плотины (дамбы) первой очереди; 2 — экран; 3 — дренаж; 4 — плотины (дамбы) последующих очередей; 5 — пульпопровод

земли или на поверхность ранее намытых хвостов и по пути движения к пруду постепенно, но непрерывно освобождается от твердой фазы. При этом в начале пути на подводном пляже оседают более крупные фракции хвостов, в середине пути на подводном откосе пляжа — средние по крупности фракции и в конце пути в пределах пруда — наиболее мелкие.

При втором способе сброса пульпы (подводном) осаждение хвостов и их раскладка в хвостохранилище происходят на более ограниченной, чем при надводном способе, площади, в основном, как в неподвижной водной среде по мере гашения кинетической энергии струи пульпы. При этом образование подводного откоса при крупных однородных хвостах и небольших скоростях потока пульпы происходит в результате периодического сползания хвостов, накапливающихся в верховой части откоса [61]. При сползании происходит перемешивание шламов.

Таким образом, при замыве хвостохранилищ дифференциация хвостов, определяясь крупностью частиц и плотностью материала, зависит как от схемы подачи, так и от способа сброса в них пульпы. В результате этого в пределах поля хвостохранилища образуется среда, весьма неоднородная в фильтрационном отношении в плане и в разрезе. Кроме того, вследствие непостоянства во времени режима намыва хвостов (изменение расхода, консистенции пульпы) в них образуется слоистая текстура. Это обуславливает фильтрационную анизотропию хвостов — большие коэффициенты фильтрации в горизонтальном направлении ( $k_r$ ), меньшие ( $k_n$ ) — по нормали к слоям. Коэффициент анизотропии средне- и мелкозернистых разностей хвостов характеризуется величинами от 1,5 до 2,5 [123]

$$k_a = \frac{k_r}{k_n} = 1,5 - 2,5. \quad (76)$$

По гранулометрическому составу хвосты делятся на:

- крупнозернистые — сумма частиц крупнее 0,5 мм более 50 %;
- среднезернистые — сумма частиц крупнее 0,25 мм более 50 %;
- мелкозернистые — сумма частиц крупнее 0,1 мм более 75 %;
- пылеватые — сумма частиц крупнее 0,1 мм меньше 75 %.

Некоторая характеристика физических и фильтрационных свойств такого рода разностей хвостов, намытых в хвостохранилища ряда ГОК черной и цветной металлургии, содержится в работах [123, 127].

При эксплуатации хвостохранилищ по мере подачи в них пульпы уровни воды в прудах осветления все время повышаются. Изменяются в пределах хранилищ местоположение пруда и его размеры. Так, при замыве хвостохранилища от плотины к берегам и наращивании плотины в сторону верхнего бьефа уровень воды в пруде систематически отстает от плотины первой очереди (см. рис. 42, а).

При наращивании плотины следующих очередей в сторону нижнего бьефа уровень воды в пруде также повышается, но урез воды в нем перемещается на плотину (см. рис. 42, б). При замыке хвостохранилища по кольцевой схеме и наращивании плотины в сторону верхнего бьефа уровень воды в пруде повышается, а площадь его сокращается (см. 42, в). При той же схеме подачи хвостов, но при наращивании плотины в сторону нижнего бьефа уровень воды в пруде повышается, а площадь его расширяется (см. рис. 42, г). Таким образом, условия фильтрации жидкости из хвостохранилищ характеризуются непостоянством во времени уровня воды в нем (напора), мощности слоя намываемых шламов, местоположения и размеров площади фильтрации.

Условия фильтрации жидкости из хвостохранилища нередко усложняются созданием на пониженных в рельефе местах, за дамбами обвалования или за отсечными плотинами емкостей для аккумуляции и отвода ливневых стоков, а иногда одновременно и для сброса пульпы на случай аварии в основной системе ее транспорта. При расположении хвостохранилища балочного (овражного или речного) типа между вытянутыми вдоль него с одной или с обеих сторон долинами оврагов, балок, ручьев условия фильтрации сточных вод из хранилища также усложняются, а направление фильтрационных потоков определяется главным образом влиянием этих долин (хвостохранилище Михайловского ГОКа).

Хвостохранилища занимают обширные площади в сотни гектаров, глубина их брутто достигает сотен метров, а глубина слоя воды в зависимости от условий подачи пульпы и забора осветленной воды — 0,5—1,5 м.

Состав сточных вод, подаваемых в хвостохранилища (жидкой составляющей пульпы), зависит от вида обогащаемой продукции и способа обогащения. Так, при гравитационном способе обогащения и магнитной сепарации руд черных металлов сточные воды загрязнены главным образом механическими примесями, а химический состав их мало отличается от состава исходной воды, используемой в технологическом процессе: некоторое обогащение происходит за счет содержащихся в руде и пустой породе водорастворимых солей — хлоридов и сульфатов.

Сточные воды от рудообогатительных фабрик, где обогащение руд ведется методом флотации, содержат значительные количества химических минеральных и органических загрязнений — флотореагентов. Так, на Михайловском ГОКе КМА, где проектируется магнитно-флотационный способ обогащения руд, расход флотореагентов на I очередь составит (в кг/ч): талового мыла — 619, едкого натра — 186, серной кислоты — 868, жидкого стекла — 162. При этом в хвостохранилище будет подаваться 553 т хвостов и 5235 м<sup>3</sup> воды в час. Из указанного количества талового мыла 80% будет уходить с концентратом, а 20% поступать в хвостохранилище. Таким образом, в сточных водах этого ГОКа лишь талового мыла будет содержаться около 20 мг/л.

На ряде обогатительных фабрик сточные воды перед сбросом их в хвостохранилище подвергают очистке с помощью гашеной извести. Однако и после этого сточные воды остаются еще в некоторой степени загрязненными. На отдельных обогатительных фабриках промстоки подаются в хвостохранилище вместе с хозяйственно-фекальными водами, содержащими большое количество сероводорода, обладающего, как известно, восстановительной способностью. В связи с этим содержание роданидов, сульфидов, меди и железа в сточных водах, поступающих в хвостохранилище, не уменьшается, а увеличивается.

Как отмечено выше, обогащение руд цветных металлов производится методом флотации. В качестве флотореагентов применяются соляная и серная кислоты, силикат и бикарбонат натрия, едкий натр, сульфид натрия, кальцинированная сода, известь, цинковый и медный купоросы, цианиды натрия, крезолы, фенолы, пириды, терпинеол, керосин, сосновое масло, олеиновая кислота, дитиофосфаты, ксантогенаты [93]. Все эти флотореагенты в том или ином количестве содержатся в сточных водах.

Кроме того, сточные воды содержат такие химические соединения, которые не вводятся в процессе флотации, а образуются в результате химического взаимодействия между вводимыми флотореагентами, а также флотореагентами и элементами, содержащимися в рудах. К числу этих производных соединений относятся цианиды меди и цинка, роданиды [93]. В результате сточные воды обогатительных фабрик руд цветных металлов оказываются загрязненными органическими и минеральными соединениями.

Сточные воды рудообогатительных фабрик перед тем, как направляются в хвостохранилища, подвергаются очистке (нейтрализации, окислению), и, кроме того, в самом хвостохранилище происходит естественный процесс разрушения флотореагентов, в результате которого в стоках обогатительной фабрики свинцово-цинковых руд, например, уменьшается содержание цианидов, свинца, крезола, ксантогената и дитиофосфата [93].

Тем не менее сточные воды обогатительных фабрик руд цветных металлов в какой-то степени являются загрязнителями поверхностных и подземных вод, а хвостохранилища, аккумулирующие эти стоки, источниками загрязнения.

### Шламоохранилища

Шламоохранилища — крупные земляные наземные сооружения (емкости объемом до десятков миллионов кубических метров, глубиной до 50 м и сроком службы более 10 лет), создаваемые в системе водоснабжения и водоотведения металлургических заводов. Размещаются они или на равнинных плоских участках местности (поймах, террасах) и обваловываются со всех сторон, или на участках местного понижения рельефа и частично обваловываются, или, наконец, в пологих оврагах и балках, перегора-

живаемых плотинами. Другими словами, по условиям рельефа местности, на которой размещаются шламохранилища, они делятся на те же типы, что и хвостохранилища. Дамбы обвалования и перегораживающие плотины шламохранилищ возводятся насыпным способом из суглинистых материалов; для этой цели используются также намываемые в шламохранилища шламы. Подача шламовой пульпы в шламохранилища производится по тем же схемам, что и хвостовой пульпы в хвостохранилища.

Основное назначение шламохранилищ — прием твердых отходов металлургического производства — шламов, подаваемых гидравлическим способом. Вместе с тем шламохранилище, поскольку в него поступает большое количество жидкости, выполняет и другие функции — осветления, охлаждения и усреднения промышленных сточных вод.

Шламохранилища устраиваются либо односекционными — с общим приемом стоков, либо многосекционными — с общим или раздельным приемом стоков. В многосекционных шламохранилищах при общем приеме стоков заполнение секций производится последовательно, при раздельном приеме — одновременно.

На металлургических заводах с их разнообразным составом производств образуются различные по составу и степени загрязнения сточные воды — от станции очистки доменного газа, химводоочистки, сталеплавильных цехов, цехов холодного проката, коксохимического цеха (или завода в системе комбината) и др. Таким образом, в шламохранилищах в отличие от хвостохранилищ содержатся разнородные по химическим загрязнениям промстоки. Так, в шламохранилище Ново-Липецкого металлургического завода промышленные сточные воды поступают от газоочистки доменного газа, химводоочистки, из прокатного цеха, брызгальных бассейнов, градирни, котельной ТЭЦ, кауперов, багерной насосной станции, электросталеплавильного цеха, цеха фасонного литья, компрессорной станции и промливневой канализации.

Нередко шламохранилище служит приемником промстоков не одного, а ряда заводов и предприятий различного профиля. В таких случаях содержащиеся в них стоки оказываются по химическому составу особо сложными. Так, в шламохранилище металлургического завода «Запорожсталь» наряду со стоками от собственных цехов (газоочистки доменного газа, прокатного и коксохимического цехов, цеха очистки серы) поступают и стоки завода «Днепроспецсталь», алюминийевого и титано-магниевого заводов и аглофабрики. Шламохранилища большей части металлургических заводов принимают и золошлаковый материал заводских ТЭЦ, а шламохранилище Западно-Сибирского металлургического комбината — хвосты от углеобогадательной фабрики.

В сточных водах, поступающих в шламохранилища, содержатся органические и минеральные химические загрязнения. Так, в общем стоке фенольных вод коксохимических заводов после предварительной очистки надсмольных и сепараторных вод и

смещения их со стоками других цехов содержатся фенолы, аммиак, сероводород, роданиды, цианиды, смолы и масла, а также хлориды, сульфаты в виде аммиачных и кальциевых солей, примеси нафталина, пиридина и углеводов, рН их 8—9, окисляемость — 1 г/л  $O_2$ , БПК<sub>5</sub> — 0,8 л [150]

В сточных водах прокатных цехов основными загрязнителями являются окалина, технические масла и нефтепродукты, а в стоках от очистки доменного газа, газов электроплавильных печей и от травления черных металлов содержатся цианиды, роданиды, железный купорос, серная кислота и др.

В сточных водах машиностроительных предприятий также содержатся серная кислота, цианистый натрий и металлы: шестивалентный хром, никель, алюминий, кадмий, свинец. Стоки углеобогачительных фабрик загрязнены хлоридами и сернокислыми соединениями.

Цехи металлургических заводов, где образуются особо вредные стоки, имеют замкнутый цикл водоснабжения — локальную очистку стоков и повторное их использование в технологическом процессе.

Таким образом, шламохранилища также являются источниками загрязнения подземных вод и водоемов.

### Золоотвалы

Золоотвалы представляют собой земляные наземные емкости для приема и складирования твердых отходов от тепловых электрических станций. В общем случае отходы состоят из золошлакового материала — твердого негорючего остатка, получающегося после сжигания топлива, золы — мелкой части золошлакового материала, улавливаемой по мере сгорания топлива в золоуловителях, и шлака — частиц, скапливающихся по мере сгорания топлива под топкой в шлакосборниках [143].

Золошлаковый материал транспортируется в золоотвал гидравлическим способом. Смесь этого материала с водой, как и в случаях гидротранспорта хвостов и шламов, называется пульпой. В золошлакоотвалах твердая составляющая пульпы (зола и шлак) оседает и накапливается, а жидкая (вода) — осветляется и либо повторно используется при оборотной системе водоснабжения станции, либо сбрасывается в водоем при прямоточной системе водоснабжения.

По условиям размещения и в зависимости от характера рельефа золоотвалы делятся на те же типы, что и хвостохранилища и шламохранилища, и аналогично им сооружаются и эксплуатируются.

Крупность золошлакового материала, образующегося на станциях, зависит от рода топлива (уголь, сланцы, торф) и характера его сжигания (пылевидное, слоевое). При этом считается, что фракции золошлакового материала менее 0,25 мм представляют



собой золы, более 0,25 мм — шлаки. Золошлаковому материалу, откладываемому в золоотвалах, присуща, как и хвостам и шламам, фильтрационная анизотропия. Коэффициент анизотропии оценивается величинами 2—5 [143] и определяются по соотношению

$$k_a = \frac{k_r}{k_n}. \quad (77)$$

Сточные воды, поступающие в золоотвалы, особых химических загрязнений не содержат.

Однако по мере оборачиваемости сточных вод в производстве концентрация солей в них увеличивается, в частности отмечается накопление серпистых соединений.

### **Подземные хранилища промышленных сточных вод**

Среди множества типов промышленных сточных вод имеются особо токсичные или такие, для которых отсутствует еще надежный и рентабельный способ очистки. К ним в первую очередь относятся сточные воды химической и особенно жидкие отходы радиохимической промышленности.

В связи с этим в СССР в последнее время наряду с разработкой методов сжигания этих сточных вод и жидких отходов в специальных печах более широко разрабатываются методы их захоронения в глубокие горизонты земной коры.

Опыт США, Канады, ГДР и СССР по подземному захоронению сточных вод, в том числе и опыт использования промстоков для законтурного заводнения нефтяных пластов, показывает, что этот способ защиты естественных водоемов от их загрязнения промстоками оказывается не дороже методов очистки и аккумуляции промстоков в наземных хранилищах.

Однако проблема захоронения промстоков и отходов в глубокие пласты земной коры является значительно более сложной по сравнению с другими способами защиты окружающей среды от загрязнения отходами промышленности. Подземное захоронение отходов промышленности таит в себе опасность возможного возникновения новых экологических проблем, в частности образования вторичных источников загрязнения окружающей среды, интенсивность и масштабы которых трудно, а во многих случаях, может быть, и невозможно прогнозировать. Это тем более важно, что здесь вряд ли можно рассчитывать на реальность мероприятий для компенсации несовершенства подземных хранилищ, как это осуществляется для наземных хранилищ, когда их несовершенство выявляется при эксплуатации. Поэтому при проектировании подземного захоронения промышленных стоков и отходов необходимо проявлять исключительную осторожность в выборе пластов-коллекторов и оценке перспектив их использования в качестве хранилищ. Главным в этом смысле должно быть детальное в каждом конкретном случае выявление геолого-структурных

и гидрогеологических условий, обеспечивающих создание надежно изолированного подземного хранилища промышленных отходов.

На территории СССР такие условия могут быть найдены в пределах Западно-Сибирской низменности (меловые отложения), на Русской платформе (пермско-каменноугольные и девонские отложения) в Минусинской котловине (девон), в Ферганской впадине (палеоген), на северных окраинах Донбасса (песчаники московского яруса, пески триаса) [47] и в других районах со структурами типа платформ, межгорных впадин и краевых прогибов с мощным чехлом осадочных пород и обширными зонами застойного и затрудненного водообмена. Ненадежными для подземного захоронения промышленных отходов следует считать структуры, образованные разрывными дислокациями (горсты, грабены), а также области развития карста.

Собственно пласты-коллекторы должны быть надежно изолированы от вышележащих горизонтов водоупором, исключаяющим вертикальную миграцию загрязнений. Они должны обладать достаточной на расчетный срок физической емкостью (пористостью, проводимостью) и другими гидродинамическими и физико-химическими параметрами, обеспечивающими долговременность работы системы подземного захоронения стоков.

Стоки, подлежащие подземному захоронению, должны быть специально подготовлены: нейтрализованы, стабилизированы и освобождены от взвесей.

\* \* \*

В нашей стране в общем комплексе мероприятий по защите окружающей среды, проводимых в соответствии с Конституцией Союза ССР, особое внимание уделяется защите подземных и поверхностных вод от загрязнения промышленными сточными водами и отходами производства.

В этих целях наряду с совершенствованием технологии производств, полностью исключающей образование сточных вод или сводящей их количество и степень загрязнения к минимуму, строительством в огромных масштабах новых очистных сооружений и реконструкцией старых, улучшением известных и поиском новых методов очистки практически во всех проектах земляных сооружений в системах водоотведения промстоков предусматриваются противофильтрационные мероприятия (кольцевые совершенные завесы, пластовые экраны однослойные и двухслойные, без вакуума и с вакуумом, пленочные, комбинированные экраны и др.) в зависимости от гидрогеологических условий участка размещения сооружения, характера и степени загрязнения промстоков.

Поскольку площади земляных сооружений для сбора промстоков большие, противофильтрационные мероприятия весьма дорогостоящи. Поэтому при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях к проектам таких сооружений

должны быть получены надежные фактические данные для обоснования необходимости устройства противofильтрационных мероприятий и выбора наиболее эффективного и экономического их типа. Этим вопросам должно уделяться внимание изыскателей и проектировщиков с начала работ по выбору места для размещения земляных сооружений — хранилищ промышленных сточных вод.

### **3. ВЫБОР МЕСТА ДЛЯ ЗЕМЛЯНЫХ ХРАНИЛИЩ ПРОМСТОКОВ**

Выбор места расположения хранилищ промышленных сточных вод должен проводиться одновременно с выбором площадок намечаемых к строительству предприятий, их жилых поселков и источников водоснабжения на основе имеющихся материалов исследований и описания природных условий района, а также по данным натурного рекогносцировочного обследования мест предполагаемого размещения предприятия. При выборе мест расположения проводятся сбор, анализ и обобщение имеющихся материалов: по климату, почвам, растительности, геологии, гидроисологии, гидрологии, топографии, а также по существующему и перспективному хозяйственному и культурному освоению района.

В тех случаях, когда для обоснования выбора места расположения хранилища имеющихся материалов исследования природных условий района недостаточно, при рекогносцировочном обследовании производятся облегченные изыскания — бурение отдельных скважин, проведение ВЭЗ на площадках возможного размещения хранилища и в зонах его влияния, измерения расходов воды в водотоках, намечаемых для сброса в них стоков и установление их минимальных, средних и максимальных значений, определение уровней и химического состава грунтовых вод и вод ближайших водотоков и водоемов.

При выборе мест расположения проектируемых хранилищ промышленных стоков рекомендуется исходить из приведенных ниже основных положений.

1. Хранилища промстоков должны располагаться, как правило, на малоценных в сельскохозяйственном отношении землях: в сорах, на такрыах, солончаках, в котловинах выдувания, долинах оврагов, балок, ключей, на пониженных в рельефе и со всех сторон или частично замкнутых участках пойм, террас, склонов долин.

2. Хранилища следует располагать на слабофильтрующих грунтах. При этом необходимо иметь в виду, что залегание непосредственно под дном хранилища на пути вертикальной фильтрации стоков хорошо фильтрующих грунтов не может служить противопоказанием к его размещению, если на пути растекания и движения стоков из хранилища, т. е. на пути горизонтальной их фильтрации, залегают слабофильтрующие грунты.

3. По отношению к водозаборам подземных вод централизованного водоснабжения хранилища промстоков должны располагаться в таком месте и на таком расстоянии, при которых полностью исключается их влияние на водозабор или исключается попадание в водозабор вредных веществ в недопустимой концентрации. В тех случаях, когда соблюдение этих условий затруднительно, вопрос размещения хранилищ должен решаться на основе технико-экономических расчетов и сопоставлений затрат на мероприятия по защите водозаборов от загрязнения, их переносу и др.

4. Хранилища, выделяющие газ, неприятные запахи, должны располагаться по отношению к ближайшему населенному пункту с подветренной стороны для господствующих ветров теплого периода года. Расстояние от хранилища до населенного пункта может быть принято 1—2 км по согласованию с санитарными органами.

5. Расстояние хранилища от водотоков и водоемов должно выбираться с учетом предельно допустимого по санитарным и рыбохозяйственным нормам количества вредных веществ, которые могут попасть из хранилища по грунтовому потоку в водоток, водоем в периоды наиминимальной их водности (для рек и озер в межень период 95%-ной обеспеченности, для водохранилищ — в период максимальной сработки уровней).

6. Расстояние от внешнего контура хранилища до границ ценных лесных массивов должно превышать:

а) на участках ниже хранилища справа и слева от него при залегании зеркала грунтовых вод на уровне низа корневой системы деревьев — половину общей ширины зоны растекания стоков;

б) на участках выше хранилища, а также против него справа и слева при тех же условиях — ширину зоны подпора грунтовых вод хранилищем;

в) на тех же участках, что отмечены в предыдущем пункте, при условии залегания зеркала грунтовых вод ниже низа корневой системы деревьев — ширину зоны в пределах которой уровень грунтовых вод под влиянием хранилища может подняться (с учетом высоты капиллярного поднятия) до корневой системы деревьев.

7. При размещении хранилищ необходимо учитывать условия, при которых может быть полностью исключена или сведена к минимуму возможность заболачивания и засоления земель, прилегающих к хранилищу. Расстояния и ширина указанных выше зон, а также возможность заболачивания и засоления земель определяются при выборе мест расположения хранилищ ориентировочными расчетами по имеющимся материалам с некоторым «запасом прочности».

8. При выборе участка размещения хранилища должны учитываться характер рельефа в расчете на сброс стоков в водоем само-

теком и минимальные затраты по отведению от хранилища местного поверхностного стока. Выбор места расположения хранилища должен быть согласован со всеми заинтересованными организациями и органами надзора — санитарного, рыбного, охраны природы.

#### **4. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УЧАСТКЕ, ВЫБРАННОМ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ХРАНИЛИЩ ПРОМСТОКОВ**

Изыскания должны выполняться (см. гл. I, раздел 4) на основании технического задания, выдаваемого главным инженером проекта. В техническом задании должны быть указаны (по данным предварительных проектных проработок и материалам выбора площадок возможного расположения хранилища):

а) назначение хранилища (накопление промстоков и сброс их в водоток, водоем; накопление промстоков в расчете на их испарение, отстой и полное или частичное использование в оборотном водоснабжении или на полив);

б) схема расположения проектируемых сооружений, размеры (площадь) и форма проектируемого хранилища в плане с показом близлежащих водотоков, водоемов, водозаборов, угодий, застроек и др.;

в) высота перегораживающих плотин, дамб обвалования хранилища, намечаемый способ производства работ (намыв, отсыпка, укатка) и материал (грунт, хвосты, шламы) для их возведения;

г) техническая характеристика (размеры, глубина заложения, материал) других сооружений (подводящих и отводящих каналов, трубопроводов, насосных станций, оголовков и др.), связанных с эксплуатацией хранилища;

д) количество промстоков, подаваемых в хранилище в единицу времени, их химический состав, общая минерализация, количество и состав минеральных солей, органических соединений и других специфических загрязнителей, связанных с технологией данного производства, а также ожидаемое количество и состав взвешенных веществ (гранулометрический и минеральный состав шлама, хвостов);

е) отметки и график изменения (колебания) зеркала промстоков в хранилище при эксплуатации;

ж) согласованное с санитарными и рыбохозяйственными органами количество сбрасываемых промстоков в водоток в единицу времени, допустимое для естественного режима данного водотока и состава стоков;

з) краткое описание проектируемых сооружений и условий их эксплуатации, предполагаемые технические решения.

На основе технического задания и общего представления о геологических и других природных условиях района размеще-

ния хранилища составляется программа инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий, целью которых являются:

а) определение количества потерь промышленных стоков из хранилища на фильтрацию;

б) составление прогноза о масштабах зоны растекания промстоков из хранилища, направлении и скорости их потока;

в) определение величины подпора грунтовых вод в зоне влияния фильтрационного потока промстоков;

г) оценка степени изменения минерализации подземных вод в зоне фильтрационного потока промстоков и влияние этого изменения на почвенный и растительный (лесной) покровы территории, прилегающей к хранилищу, а также на действующие в районе хранилища водозаборы подземных вод;

д) определение степени изменения минерализации воды в прилегающих к хранилищу водотоках и водоемах на участках выклинивания в них фильтрационного потока промстоков;

е) получение исходных данных для проектирования (при необходимости) противофильтрационных или других мероприятий защиты почв, подземных вод, водотоков и водоемов от загрязнения;

ж) выявление условий строительства ограждающих сооружений (плотин, дамб) и устройств оборотного водоснабжения.

Для освещения перечисленных выше вопросов проводятся инженерно-геологические и гидрогеологические полевые и лабораторные исследования на площадях хранилищ и прилегающих к ним территориях до ближайших гидрогеологических границ (питания, стока) водоносных горизонтов, с которыми будут связаны условия эксплуатации хранилища. Состав и объем исследований определяются в каждом конкретном случае, исходя из состава и количества стоков, подаваемых в хранилище, климатических, гидрологических, геологических и гидрогеологических условий района и места размещения хранилища, его размеров и назначения. Во всех случаях необходимо установить:

а) гидрогеологическое строение района размещения хранилища;

б) гидрогеологические параметры водоносных горизонтов на участке хранилища и на прилегающих к нему территориях в зонах предполагаемого растекания стоков;

в) водопроницаемость грунтов зоны аэрации и их водные свойства;

г) режим подземных вод;

д) физико-механические свойства грунтов;

е) физико-химические свойства грунтов;

ж) химический состав грунтовых вод по сезонам года;

з) физико-химические параметры взаимодействия промстоков с природными водами и горными породами.

В состав инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий для проектирования любого типа накопителя (хранилища

стоков) входят: комплексная инженерно-геологическая и гидро-геологическая съемка, электроразведочные, буровые, опытно-фильтрационные работы и специальные полевые и лабораторные исследования физико-механических и физико-химических свойств грунтов, грунтовых и сточных вод и их взаимодействия.

Масштабы инженерно-геологических съемок, размещение точек разведочных и опытных выработок и расстояния между ними зависят от природных условий места расположения накопителя, хранилища и размера его площади.

Так, при изысканиях для проекта накопителей промстоков, «белых морей», хвостохранилищ, шламоохранилищ и золо-шлакоотвалов, размещаемых на местности типа 1—3 (см. раздел 5), комплексную инженерно-геологическую и гидрогеологическую съемку рекомендуется выполнять в масштабах, приведенных ниже:

Площадь хранилища, км	Масштаб
До 1	1 : 2000
» 5	1 : 2000—1 : 5000
» 10	1 : 5000—1 : 10 000
Более 10	1 : 10 000—1 : 25 000

Комплексная инженерно-геологическая и гидрогеологическая съемка должна предшествовать полевым разведочным и опытным работам. Съемкой должны быть освещены общие геоморфологические, геолого-литологические и гидрогеологические условия площади проектируемого хранилища и окружающей его территории в направлениях возможного растекания стоков и подпора грунтовых вод. Съемкой должны быть выявлены гидрогеологические границы водоносных горизонтов, в которые будет поступать фильтрационный расход промстоков из хранилища. Материалы съемки должны служить основой для определения объема и вида разведочных и опытных работ и выбора мест (точек) заложения разведочных и опытных выработок.

В процессе изысканий съемка должна пополняться фактическими материалами разведочных и опытных работ и в окончательном виде служить основой для построения расчетных фильтрационных схем и моделей.

**Электроразведка (ВЭЗ)** также должна предшествовать разведочным и опытным работам и выполняться в комплексе с гидрогеологической съемкой. Электроразведочными исследованиями выявляется общий характер геоэлектрического разреза участка изысканий на глубину до регионального водоупора с определением мощности отдельных геоэлектрических горизонтов, уровней подземных вод, зон максимальной водопроводимости (качественно), литологического состава пород отдельных горизонтов и регионального водоупора (при возможности получения по специальным скважинам надежных параметрических кривых ВЭЗ).

Наряду с ВЭЗ проводятся в комплексе с буровыми и опытно-фильтрационными работами определения направления и скорости движения подземных вод методом заряженного тела. Для создания заряженного тела следует по возможности применять жидкости, аналогичные или близкие по составу стокам предприятия, для которого проектируется данное хранилище (если эти стоки электролиты). Такая возможность нередко имеется в районах действующих промышленных узлов.

ВЭЗ производится по поперечникам в пределах площади хранилища и на прилегающей к нему территории по линиям предполагаемого растекания и движения стоков. Поперечники ВЭЗ на площади хранилища намечаются обычно по основным линиям предполагаемого расположения разведочных скважин, что определяет расстояние между ними. В зависимости от размеров исследуемой площади хранилища это расстояние может составлять 250—2000 м. На площади, прилегающей к хранилищу, в зоне предполагаемого растекания стоков ВЭЗ производится по всем линиям (профилям), намеченным для бурения разведочных и опытных скважин. Расстояние между точками ВЭЗ на поперечниках в пределах площади хранилища и на разведочных линиях за пределами площади хранилища 100—200 м с уменьшением до 50—100 м между точками аномалий.

Определение направления и скорости движения грунтовых вод, а также скорости растекания и движения проток-аналогов производится на площадях, прилегающих к хранилищу, по разведочным линиям в зонах предполагаемого растекания стоков, в двух-трех точках на каждом участке линии, выделенном по геолого-литологическим и гидрогеологическим особенностям.

При неоднородном составе отложений водоносных горизонтов в вертикальном разрезе опыты методом заряженного тела производятся на разной глубине, в каждой литологической разности горизонта.

**Разведочные — буровые и шурфовочные — работы** проводятся с целью изучения характера напластования, мощности и литологического состава отложений, слагающих участок размещения хранилища, определения глубины залегания уровней грунтовых вод, мощности и состава водовмещающих пород, глубины залегания, состава и мощности водоупорного пласта (точнее пласта, который может быть принят для изучения и оценки как водоупор), создания сети пунктов для наблюдений за режимом грунтовых вод и обеспечения отбора проб грунта на лабораторные исследования. Бурение и шурфование ведутся по поперечникам вкрест простирания основных геоморфологических элементов площади исследований или при расположении этой площади в пределах одного геоморфологического элемента — по направлению потока грунтовых вод. Разведочные работы производятся также в зонах предполагаемого растекания и движения стоков главным образом в сторону ближайших водотоков, водоемов, водозаборов



подземных вод, промышленных сооружений, населенных пунктов и ценных лесных массивов.

Наблюдения за режимом подземных вод должны проводиться на площади хранилища и в зоне возможного их подпора от хранилища, а также в зонах растекания и движения стоков. В комплекс наблюдений за режимом подземных вод необходимо включать наблюдения за режимом водозаборов, водотоков и водоемов, вблизи которых намечается расположить хранилище. Этот вид работ должен проводиться как при изысканиях, так и при строительстве и эксплуатации хранилища.

Для наблюдений при эксплуатации в проекте сооружения хранилища должны быть предусмотрены специальная сеть пунктов наблюдений (скважины, гидропосты и др.), штат наблюдателей и денежные расходы по режимным наблюдениям. При проектировании должна быть составлена инструкция по проведению режимных наблюдений и обработке их результатов.

**Опытные (полевые) фильтрационные работы** — откачки, наливов, нагнетания, расходомерия, инфильтрация из шурфов — производятся для определения коэффициентов фильтрации грунтов зоны аэрации в пределах площади хранилища, коэффициентов фильтрации, проводимости и уровнепроводности (пьезопроводности) водоносных пластов в пределах площади хранилища, на граничащих с хранилищем участках и в зонах предполагаемого растекания и движения стоков.

В полевых условиях на специальных опытных прудах производятся при необходимости определения величин инфильтрации или испарения промстоков (в зависимости от назначения хранилища, пруда), а также опыты по определению очищающей способности грунтов с использованием в опытах стоков-аналогов.

Число разведочных выработок и точек для фильтрационного, физико-механического и физико-химического опробования на площади исследований определяется в зависимости от ее морфологических условий, постоянства или частоты изменчивости в плане состава и мощности пород и от размеров этой площади.

При этом следует учитывать, что при определении средних значений того или иного параметра пласта (например, средней мощности, пористости или коэффициента фильтрации) всегда имеется оптимальная совокупность точек наблюдений (оптимальный объем выборки), за пределами которой значение среднего практически не изменяется. В качестве иллюстрации в табл. 4 приведены характерные данные из ряда определений средней мощности слоя грунтов [15].

Из данных табл. 4 следует, что соблюдение нередко применяемого на практике принципа определения, например, числа разведочных выработок из расчета  $n$  выработок на каждые  $S$  га площади исследований независимо от общих размеров последней не обязательно. Учитывая это, а также исходя из опыта изысканий, в общем случае при расположении исследуемой под храни-

**Определение средней мощности слоя грунтов  
по разным объемам выборок**

Объект	Площадь исследования, км <sup>2</sup>	Грунты, для которых определялась мощность $m$	Фактический шаг между скважинами, м	Среднеарифметическое значение $m_1$ , определенное по скважинам с фактическим шагом, м
Пруд-испаритель, участок 1	47,45	Глины	500	3,74
То же, участок 2	65,00	Глины	500	5,49
То же, участок 3	130,00	Пески	1000	10,66
Объект	Фактический шаг, увеличенный вдвое, м	Среднеарифметическое значение $m_2$ , определенное по скважинам с шагом, увеличенным вдвое против фактического, м	Отношение $\frac{m_1}{m_2}$ , %	Фактические крайние пределы значений $m$ по всем скважинам, м
Пруд-испаритель, участок 1	1000	3,72	+0,61	1,5—8,2
То же, участок 2	1000	5,46	+0,55	1,8—8,7
То же, участок 3	2000	10,86	—1,9	3,2—21,0

лище площади в пределах одного морфологического элемента (на равнинной местности или в плоском понижении на равнине) в условиях скачкообразной незакономерной изменчивости геологических, гидрогеологических и физико-механических параметров для определения коэффициентов фильтрации грунтов зоны аэрации и водоносных пластов можно рекомендовать данные, приведенные в табл. 5 [15].

При размещении хранилища в пределах различных морфологических элементов на одних из них шаг между разведочными выработками и точками опытов по определению фильтрации может быть уменьшен, на других — увеличен в зависимости от их особенностей; при этом на каждом морфологическом элементе должно быть не менее трех точек наблюдений.

**Расстояния между разведочными выработками и число точек опытов  
для определения коэффициентов фильтрации грунтов  
зоны аэрации и водоносных пластов**

Расстояние между выработками и число точек	Размер площади исследований, км <sup>2</sup>				
	1	5	10	25	50
Расстояние между разведочными выработками, м	250—300	300—400	400—500	600—700	800—1000
Число точек опытов для определения коэффициентов фильтрации грунтов зоны аэрации	9	15	20	25	30
Число точек опытных откачек для определения коэффициентов фильтрации водоносных горизонтов	5	9	12	18	24

При залегании подошвы фильтрующей толщи пород на глубине до 25 м все разведочные скважины, намечаемые по данным табл. 5, бурятся до водоупора, на глубине до 50 м — до водоупора бурится половина скважин от общего их числа (по сетке через одну); при этом характер отложений нижней части фильтрующей толщи пород и положение водоупора в промежутках между скважинами, доведенными до водоупора, принимаются по интерполяции и данным ВЭЗ. При значительной глубине залегания водоупора (более 100 м) полная мощность фильтрующей толщи может быть принята по материалам общего геологического строения района и данным ВЭЗ.

В качестве водоупора для вскрытого водоносного горизонта следует считать подстилающий его пласт пород, имеющий региональное распространение и такие мощность и коэффициент фильтрации, при которых величина фильтрационного расхода не будет превышать допустимой в конкретных природных условиях для данного состава стоков.

При однородной в литологическом отношении водопроницаемой толще пород (однородное основание) и мощности ее более 10 м определение фильтрационных свойств ведется по зонам; мощность зон опробования 5—10 м. Если основание проектируемого хранилища двухслойное (с поверхности залегает слой слабопроницаемых пород, подстилаемых слоем более водопроницаемых отложений, или наоборот), мощность и фильтрационные свойства должны быть выявлены для верхнего и нижнего (последнего до водоупора) слоев.

При четко выраженном слоистом строении толщи пород определяется полная мощность ее до регионального водоупора, а также мощность, фильтрационные, физико-механические и физико-хими-

ческие свойства каждого слоя. Фильтрационные и физико-химические свойства пород зоны аэрации определяют по разрезу отдельно для почвенных горизонтов вымывания и вмывания и для материнской породы.

Число выработок на разведочных линиях от контура хранилища до ближайших границ водоносного пласта (если они имеются), а также по направлению потока грунтовых вод и по линиям предполагаемого растекания стоков в стороны ближайших водотоков, водоемов, водозаборов подземных вод, промышленных сооружений, населенных пунктов и ценных лесных угодий определяется исходя из морфологических, геолого-литологических условий местности и длины линий. В общем случае расстояние между выработками на разведочной линии можно принимать: при длине линии до 1 км — 0,25—0,3 км, до 10 км — 0,5—1 км, более 10 км — 1—2 км.

Начальной выработкой на разведочной линии должна быть выработка на контуре проектируемого хранилища, конечной — на границе объекта, к которому направлена эта линия. При разведке по линиям в направлении к существующим водотокам и водоемам конечные выработки следует располагать в их акватории. При этом исследованиями должна быть выявлена степень фильтрационного совершенства водотоков, водоемов.

На разведочных линиях выработки следует доводить до водопора, исходя из тех же условий, что отмечены выше для площади хранилища; по всем выработкам здесь должны быть определены гидрогеологические параметры водоносных горизонтов.

Разведочные линии на прилегающих к хранилищу территориях должны служить продолжением основных разведочных поперечников на площади хранилища. Это необходимо для составления гидрогеологических карт, профилей от области питания до области стока и расчетной схемы фильтрации.

Для проекта балочно-равнинного типа хранилищ промышленных сточных вод (тип 5) состав и объем инженерно-геологических и гидрогеологических исследований на всей площади хранилища и за его пределами должны соответствовать составу и объему, указанным выше для хранилищ типов 1—3. Дополнительно в пределах оврага, где напор на дамбе (плотине) будет максимальным, инженерно-геологические и гидрогеологические исследования должны быть проведены в составе, объеме и по методике, изложенным в гл. III.

При размещении хранилища в овраге, долине ручья (тип 4) инженерно-геологические и гидрогеологические исследования по створу плотины и в чаше хранилища следует проводить так же, как для водохранилищ и водохранилищных плотин (см. гл. III). Особенностью изысканий здесь так же, как и для хранилищ типов 1—3, 5, является необходимость гидрогеологических исследований на территориях, прилегающих к площадям хранилищ (в зонах возможного растекания промстоков к ближайшим обла-

стям дренажа), и определений физико-химических параметров взаимодействия сточных жидкостей, грунтов и грунтовых вод.

При проектировании в системах водоотведения полей орошения учитываются следующие общие положения: удаленность полей от поставщика сточных вод (чем ближе, тем дешевле строительство и рентабельнее эксплуатация); наличие на площади, отводимой под поля орошения, почв и грунтов зоны аэрации, способных принимать поливные воды при необходимых нормах полива без заболачивания территории и образования поверхностного стока с поливаемой площади; наличие в районе создаваемых полей орошения регионального водоупора, исключающего возможность непосредственной инфильтрации сточных вод и загрязненных грунтовых вод в нижележащие водоносные горизонты пресных подземных вод; способность почв и грунтов зоны аэрации полей фильтрации очищать и обезвреживать сточные воды. Такой способностью обладают супесчаные и суглинистые почвы. Наилучший эффект почвенной очистки сточных вод достигается в условиях, когда эти почвы залегают на маломощном (1,5—2 м) слое тяжелых супесей или легких суглинков, подстилаемых песками [63].

Создание полей фильтрации возможно на площадях, расположенных в районах, где отсутствуют подземные воды; для этого подходят площади, сложенные песчаными почвогрунтами.

Для проектирования полей орошения и полей фильтрации в общем случае должны быть выполнены следующие инженерно-геологические и гидрогеологические исследования:

- почвенно-ботаническая съемка — выявление типа почв, особенностей их структуры, физических свойств, химического состава, состава поглощенных катионов для оценки физической, физико-химической и химической поглотительной способности почв, а также для подбора наиболее подходящих в данных почвенных условиях сельскохозяйственных культур с целью выращивания их на полях орошения и установления норм полива и норм сброса сточных вод;

- гидрогеологическая комплексная (геолого-литологическая, геоморфологическая, гидрогеологическая) съемка — выявление мощности, состава, физических, химических и водных свойств грунтов зоны аэрации, глубины залегания водоносных горизонтов, их гидравлических особенностей (напорные, безнапорные), мощности и состава водовмещающих пород, области и источников питания, области и характера дренажа, режима подземных вод, глубины залегания и характера водоупорного ложа;

- разведочные (бурение, шурфование) и опытно-фильтрационные работы (как в составе комплексной гидрогеологической съемки, так и самостоятельные) для детального изучения гидрогеологических условий площади будущих полей орошения или полей фильтрации. При этом разведочные выработки целесообразно располагать по линиям в направлении потока грунтовых

вод. Разведочные скважины должны доводиться до водоупора; часть скважин на каждой разведочной линии следует проходить на всю мощность водоупорного пласта или на глубину 10—15 м, если его мощность значительная и выдержана в региональном плане.

Наряду с полевыми изысканиями (геологическими, геоморфологическими, гидрогеологическими и почвенно-ботаническими) выполняются лабораторные исследования почвогрунтов, грунтовых и сточных вод.

В результате комплексных изысканий для проектирования земляных хранилищ промстоков, полей орошения и полей фильтрации должны быть получены следующие расчетные параметры и показатели:

гидрогеологические — проводимость  $km$ , пьезопроводность (уровнепроводность)  $a$ , скорость фильтрации  $v$ , дефицит водонасыщения  $\mu'$ , водоотдача  $\mu$ ;

физико-механические — гранулометрический состав, естественная влажность  $w_c$ , пористость  $n$ , активная пористость  $n_0$ , максимальная молекулярная влагоемкость  $w_0$ ;

химические — химический состав грунтов и поглощенного комплекса, грунтовых вод, количество и состав водорастворимых солей в грунтах, химический состав сточных вод;

физико-химические — параметры взаимодействия сточных вод с природными подземными водами и горными породами.

молекулярной диффузии  $D_m$  — самопроизвольного переноса вещества из области с большей в область с меньшей концентрацией в одной или разных жидкостях;

гидравлической дисперсии  $D_r$  — рассеяния частиц жидкости на пути ее фильтрации в пористой среде вследствие отклонения (опережения, отставания) скорости движения

Таблица 6

Значения коэффициента диффузии  $D$  и параметра  $\lambda$

Породы	Скорость фильтрации, м/сут	$D = D_m + D_r$ , см <sup>2</sup> /с	$\lambda$	Метод определения
Суглинки	—	$(0,02-5) \cdot 10^{-5}$		Лабораторный
Супеси	5,2—6,3	$(1-6) \cdot 10^{-3}$	0,16—0,33	»
Пески	0,3—38	$2 \cdot 10^{-5}-2 \cdot 10^{-2}$	0,03—0,07	»
Гравий	7,9—20,3	$(0,6-3) \cdot 10^{-3}$	2,4—3,3	»
Модель трещиноватой породы	16,5—66,4	$2,4 \cdot 10^{-2}$	4,3	»
Песчаники	—	$4,2 \cdot 10^{-2}$	—	»
Известняки с коэффициентом фильтрации 0,2—0,7 м/сут	—	—	30	Полевой

отдельных струй жидкости от средней скорости общего ее фильтрационного потока;

с о р б ц и и  $\beta$ ,  $\alpha$  — поверхностного и объемного поглощения породами веществ, содержащихся в сточных водах;

и о н н о г о о б м е н а между сточными водами и породообразующими минералами.

Перечисленные физико-химические параметры определяются в лабораторных и полевых условиях. Методы их определения можно найти в работе [35]. Значения некоторых из этих параметров, заимствованные из работы [39], приведены в табл. 6, 7.

Значения параметров сорбции  $\beta$ ,  $\alpha$

Т а б л и ц а 7

Породы	Сорбирующееся вещество в растворе	$\beta$	$\alpha$ 1/ч	Метод определения
Пески и супеси	Некаль (ПАВ)	7,1—18,2	—	Лабораторный
То же	Некаль (ПАВ)	5—20	—	Полевой
»	Цинк	20—30	—	»
Пески	$^{45}\text{Ca}$ , $^{89}\text{Sr}$ , $^{137}\text{Cs}$	0,002—0,14	1—10	Лабораторный

Для разработки проектов подземного захоронения сточных вод на пригодных для этой цели структурах должны быть проведены гидрогеологические, гидрохимические и физико-химические исследования пластов-коллекторов, состава подземных и сточных вод и определены гидродинамические параметры (мощность коллектора, пористость, проницаемость, пьезопроводность, плотность и вязкость сточных и подземных вод), диффузионные параметры (коэффициент молекулярной и конвективной диффузии), параметры массообмена.

Проект должен содержать обоснование параметров системы подземного захоронения — дебита нагнетательных скважин, их числа и шага между ними, а также продолжительность действия системы и ее безопасность.

## 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ПРОМСТОКОВ ИЗ ЗЕМЛЯНЫХ ХРАНИЛИЩ

Для гидрогеологических расчетов фильтрационных потерь промстоков из хранилища на основе материалов изысканий и проектирования составляется расчетная схема фильтрации. При этом чем полнее будут учтены в расчетной схеме гидрогеологические условия места расположения хранилища и исходные проектные данные (количество, состав и режим подачи стоков в хранилище), тем точнее могут быть выполнены сами расчеты.

При составлении расчетных схем фильтрации следует учитывать:

а) геолого-литологический состав пород по вертикальному разрезу и в плане на площади хранилища и на прилегающих к нему участках, характер напластования пород и их фильтрационные свойства. Состав пород по вертикальному разрезу может быть отражен в зависимости от конкретных условий как однородное в фильтрационном отношении строение толщи пород, как двух-слойное или как многослойное;

б) граничные (гидрогеологические) условия водоносного горизонта (пласта), в который будут фильтроваться стоки из хранилища. Это может быть пласт неограниченный, полуограниченный и ограниченный. Понятия о граничных условиях пласта и их гидрогеологическое отражение в расчетных схемах те же, что и в схемах гидрогеологических расчетов водозаборов подземных вод [33];

в) тип фильтрационного потока (плоский, радиальный);

г) несовершенство хранилища по степени врезки в водоносный пласт;

д) форму хранилища в плане;

е) расстояние от хранилища до области стока (реки, оврага);

ж) морфологию места размещения хранилища (равнина, долина оврага, реки и др.).

В гидравлическом отношении фильтрация из хранилища может быть без подпора — свободной и с подпором — несвободной. Однако вначале фильтрация из хранилища всегда происходит без подпора, и лишь по истечении некоторого времени она в одних случаях становится с подпором, в других — в силу того, что фильтрационный расход из хранилища в лежащий под его дном водоносный пласт существенно не изменяет гидравлические условия этого пласта, остается на все время его эксплуатации при данном режиме без подпора.

Под фильтрацией без подпора понимается фильтрация в грунты зоны аэрации, не связанная с характером движения и режимом грунтовых вод водоносного горизонта, залегающего под хранилищем. При этом количество фильтрационных потерь из хранилища через грунты не зависит от проводимости водоносного горизонта.

Под фильтрацией с подпором понимается фильтрация, связанная с характером движения и режимом грунтовых вод водоносного горизонта, залегающего под хранилищем. При этом количество фильтрационных потерь из хранилища зависит от проводимости водоносного горизонта, с которым гидравлически связан фильтрационный поток сточных вод.

Фильтрация без подпора может быть с полным и неполным заполнением пор грунта фильтрующейся жидкостью, фильтрация с подпором происходит только с полным заполнением пор грунта.

Определение фильтрационных потерь проток из хранилища, условий их растекания и движения следует начинать



с выявления гидравлического характера фильтрации (с подпором или без подпора).

В условиях однородного в фильтрационном отношении основания хранилища при постоянном наличии в нем некоторого слоя стоков фильтрация из хранилища будет происходить вначале (до смыкания инфильтрационного потока с зеркалом грунтовых вод) без подпора, с момента смыкания — с подпором. В этих же условиях, но при периодическом наличии слоя стоков в хранилище в течение времени меньше времени движения инфильтрационного потока стоков от дна хранилища до уровня грунтовых вод (что может быть при непостоянной в течение года подаче

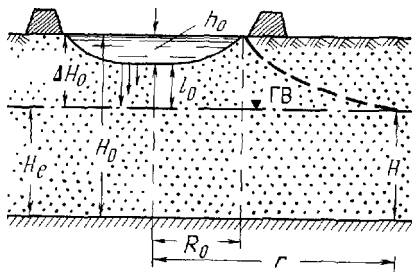


Рис. 43. Схема к расчету фильтрации промстоков из накопителя; основание однородное, водоносный пласт неограниченный

стоков в хранилище и глубоком залегании водоносного горизонта), могут быть случаи постоянной фильтрации без подпора.

В условиях двухслойного в фильтрационном отношении основания фильтрация из хранилища может быть: с подпором, если произойдет смыкание потока промстоков из хранилища с потоком грунтовых вод, и без подпора, когда такого смыкания не будет. Последнее может быть в двух случаях: а) когда величина инфильтрации  $W$  из хранилища через верхний слой меньше коэффициента фильтрации  $k$  нижнего слоя; б) когда при  $W \geq k$  отток поступающего расхода через верхний слой обеспечивается по нижнему слою увеличением его мощности и градиента фильтрационного потока.

Ниже приводятся порядок и формулы расчета фильтрации сточных вод из накопителей и хранилищ для наиболее часто встречающихся случаев их размещения в природных условиях. При этом используются главным образом работы [26, 33, 35, 37, 39, 44, 118, 153].

**Накопители и хранилища типов 1 и 5.** Водоносный пласт неограниченный. Основание однородное,  $W > k$ ;  $h_0 = \text{const}$  (рис. 43). С момента подачи в хранилище сточных вод начнется их фильтрация в зону аэрации, и через некоторый промежуток времени сточные воды достигнут зеркала грунтовых вод. До этого момента фильтрация в грунтах зоны аэрации будет в данном случае свободной, с полным заполнением пор.

Продолжительность времени  $t_{пр}$ , в течение которого произойдет смыкание (полное промачивание грунтов зоны аэрации)

инфильтрационного потока сточных вод с зеркалом грунтовых вод, может быть определена по формуле [153]

$$t_{\text{пр}} = \frac{n - w_e}{k} \left[ l_0 - (h_0 + \alpha' h_k) \ln \left( 1 + \frac{l_0}{h_0 + \alpha' h_k} \right) \right], \quad (78)$$

где  $n$  — пористость грунтов зоны аэрации, равная полной пористости  $n_n$  за вычетом объема пор  $\beta'$ , занятого воздухом ( $\beta' = 0,05 - 0,06$ , по С. Ф. Аверьянову);  $w_e$ ,  $l_0$ ,  $k$  — соответственно естественная влажность, мощность и коэффициент фильтрации грунтов зоны аэрации;

$h_0$  — высота столба сточных вод в хранилище;  
 $\alpha' h_k$  — капиллярный напор — капиллярное натяжение, действующее в направлении инфильтрации;

$h_k$  — полная высота капиллярного поднятия;  
 $\alpha'$  — коэффициент, равный, по С. Ф. Аверьянову, 0,66.

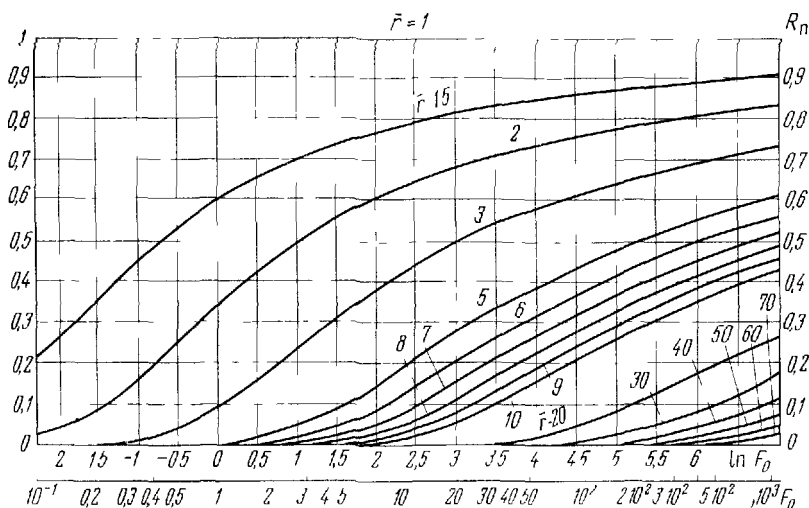


Рис. 44 График  $R_n = f(\bar{r}, F_0)$  к формуле (80)

Объем потерь сточных вод из хранилища на инфильтрацию за время промачивания грунтов зоны аэрации можно определить по формуле

$$V = kF \left( \frac{h_0 + l_0 + \alpha' h_k}{l_0} \right) t_{\text{пр}}, \quad (79)$$

где  $F$  — площадь дна хранилища. Остальные обозначения те же, что и в формуле (78).

С момента смыкания фильтрационного потока стоков с уровнем грунтовых вод под хранилищем фильтрация без подпора сменится

фильтрацией с подпором и начнется повышение уровня грунтовых вод за пределами контура хранилища.

Величина этого повышения  $\Delta H$  в любом удалении от хранилища на любой момент времени  $t > t_{\text{нр}}$  определяется по формуле [39]

$$\Delta H = \Delta H_0 R_n, \quad (80)$$

где  $\Delta H$  — искомая величина повышения уровня грунтовых вод;  
 $\Delta H_0$  — глубина от уровня сточных вод в хранилище до зеркала грунтовых вод;

$R_n$  — безразмерное фильтрационное сопротивление.

Значение  $R_n = f(F_0, \bar{r})$  может быть найдено [37] по графику на рис. 44 из условий:

$$F_0 = \frac{at}{R_0^2}; \quad \bar{r} = \frac{r}{R_0}, \quad (81)$$

где  $a$  — коэффициент пьезопроводности (уровнепроводности) водоносного пласта,

$$a = \frac{kh_{\text{ср}}}{\mu}; \quad (82)$$

здесь  $k$  — коэффициент фильтрации;

$h_{\text{ср}}$  — мощность потока грунтовых вод в точке с координатой  $r$  в момент времени  $t$ ;

$\mu$  — водоотдача или недостаток насыщения грунта;

$t$  — время, принимаемое в расчет с момента смыкания фильтрационного потока сточных вод с уровнем грунтовых вод;

$R_0$  — радиус хранилища или круга, к которому приводится форма хранилища при любой некруглой его форме. Если хранилище имеет в плане форму, близкую к квадрату (отношение сторон  $\frac{a}{b} \approx 1$ ), приведение формы хранилища к кругу производится по площади

$$R_0 = \sqrt{\frac{ab}{\pi}}, \quad (83)$$

при четырехугольной вытянутой форме хранилища ( $1 < \frac{a}{b} < 0,05$ ) — по периметру

$$R_0 = \frac{a + b}{\pi}. \quad (84)$$

По формуле (80) с  $R_n$ , значение которого определено из условий (81), получаем решение для совершенного по врезке в водоносный пласт хранилища. Однако хранилища промышленных стоков всегда несовершенны в этом отношении. Для учета несо-

вершенства («висячести» хранилища)  $R_n$  следует определять из условий [35]:

$$\bar{r} = \frac{r}{R_0 e^{-1/\lambda R_0}}, \quad F_0 = \frac{at}{(R_0 e^{-1/\lambda R_0})^2}; \quad (85)$$

$$\lambda = \frac{I_1\left(\frac{R_0}{h_{cp}}\right)}{h_{cp} I_0\left(\frac{R_0}{h_{cp}}\right)}; \quad (86)$$

$$h_{cp} = \frac{2H_0 + H_c}{3}, \quad (87)$$

где  $I_0(x)$  и  $I_1(x)$  — функции Бесселя от мнимого аргумента первого рода первого и нулевого порядков.

При значительных площадях хранилищ, что, как правило, бывает в действительности,  $R_0$  — величина большая, измеряемая сотнями и тысячами метров, а  $h_{cp}$  — относительно малая, измеряемая обычно единицами и десятками метров. Следовательно, отношение  $\frac{I_1(x)}{I_0(x)}$  почти всегда будет близким к единице (уже при  $\frac{R_0}{h_{cp}} \geq 10$  это отношение равно 0,95). Поэтому при решении практических задач можно принимать  $\lambda = \frac{1}{h_{cp}}$ .

Расход на фильтрацию стоков из хранилища с момента полного промачивания грунтов зоны аэрации (с момента смыкания инфильтрационного потока стоков с зеркалом грунтовых вод) можно определить по формуле [39]

$$Q = 2\pi km \Delta H_0 G, \quad (88)$$

где  $km$  — проводимость пласта;

$\Delta H_0$  — высота зеркала стоков в хранилище над зеркалом грунтовых вод;

$G$  — безразмерное сопротивление, значение которого как функции от  $F_0$  находится по заимствованному из работы [37] графику, приведенному, на рис. 45 ( $F_0 = \frac{at}{R_0^2}$ , где  $a$  — пьезопроводность пласта или уровнепроводность для безнапорного пласта,  $t$  — расчетное время,  $R_0$  — радиус круга, к которому приведена форма хранилища).

В условиях безнапорного водоносного горизонта

$$Q = 2\pi kh_{cp} \Delta H_0 G. \quad (89)$$

Для учета несовершенства хранилища, обусловленного его «висячестью»,  $F_0$  для нахождения  $G$  следует определять по формуле (85), а если несовершенство хранилища обусловлено и «висячестью» хранилища, и наличием на его днище экраниру-

ющего слоя или заиленности,  $F_0$  находится также по формуле (85), но с

$$\lambda = \frac{\alpha_0 l_1 (\alpha R_0)}{l_0 (\alpha R_0)},$$

где  $\alpha$  определяют по формуле (102), а  $\alpha_0$  по формуле (103).

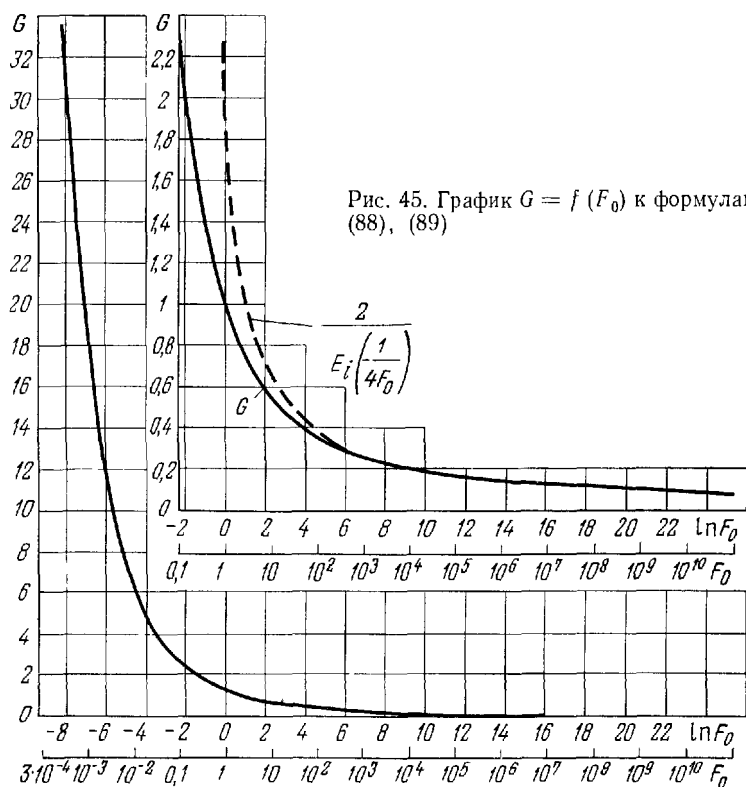


Рис. 45. График  $G = f(F_0)$  к формулам (88), (89)

При  $F_0 = \frac{at}{R_0^2} > 50$  функция  $G$  с достаточной для практических расчетов точностью [35, 39] может быть определена по формуле

$$G \approx \frac{2}{\ln 2,25 F_0}. \quad (90)$$

Тогда формула (88) запишется так:

$$Q = \frac{4\pi km \lambda H_0}{\ln 2,25 F_0}, \quad (91)$$

а формула (89)

$$Q = \frac{4\pi k h_{\text{ср}} \Delta H_0}{\ln 2,25 F_0}. \quad (92)$$

**Водоносный пласт неограниченный.** Основание двухслойное,  $k_0 < k_1$ ;  $k_1 = k_2$ ;  $W > k_0 < k_1$  (рис. 46). В условиях, показанных на рис. 46, в начальный период фильтрация стоков через слой  $m_0$  будет происходить без подпора, с полным заполнением пор, а фильтрация в слое  $m_1$  — с неполным заполнением пор.

Время полного промачивания слоя  $m_0$   $t_{пр m_0}$  определяется по формуле (78), а расход стоков на фильтрацию — по формуле

$$Q = kF \frac{(h_0 + m_0 + \alpha' h_k)}{m_0}. \quad (93)$$

Учитывая, что единичный расход из хранилища  $\bar{Q}_{xp} = \frac{Q}{F} = W$  (интенсивность фильтрации  $W = k_0 \frac{h_0 + m_0 + \alpha' h_k}{m_0}$ , где  $h_k$  относится к грунтам зоны  $m_1$ ) меньше коэффициента фильтрации

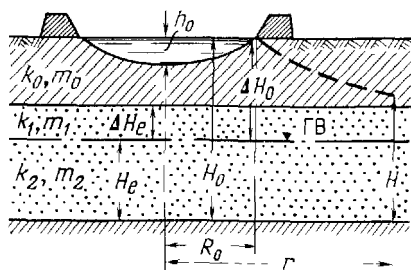


Рис 46. Схема к расчету фильтрации из накопителя; основание двухслойное, водоносный пласт неограниченный

$k_1$  пород зоны  $m_1$ , время полного промачивания грунтов зоны  $m_1$  (зоны инфильтрации) можно определить [26] по формуле

$$t_{пр m_1} = \frac{m_1}{\bar{Q}_{xp}} \left[ (n - \omega_0) \sqrt[3]{\frac{\bar{Q}_{xp}}{k_1}} + \omega_0 - \omega_e \right]. \quad (94)$$

Для песчаных пород при  $\omega_e \approx \omega_0$  и  $\omega_0 \ll n$

$$t_{пр m_1} = \frac{nm_1}{\sqrt[3]{\bar{Q}_{xp}^2 k_1}}. \quad (95)$$

Общая продолжительность времени промачивания двухслойной зоны грунтов аэрации  $m_0$  и  $m_1$  равна

$$t_{пр общ} = t_{пр m_0} + t_{пр m_1}. \quad (96)$$

С момента полного промачивания грунтов зоны аэрации уровень грунтовых вод под хранилищем начнет повышаться. При этом до тех пор, пока он не достигнет подошвы слоя  $m_0$ , расход из хранилища будет постоянным и определится лишь суммарной величиной инфильтрации

$$\bar{Q}_{xp} = WF, \quad (97)$$

где  $W$  — инфильтрация с единицы площади хранилища;

$F$  — площадь водного зеркала в хранилище.

При этих условиях повышение уровня воды под хранилищем или в любой точке пласта за его пределами может быть определено [39] по формуле

$$S = \frac{\bar{Q}_{\text{хр}}}{4\pi km} R_{\text{пл}}, \quad (98)$$

где  $R_{\text{пл}}$  — безразмерное гидравлическое сопротивление, определяемое по графику (рис. 47) в зависимости от

$$\bar{r} = \frac{r}{R_0} \text{ и } F_0 = \frac{at}{R_0^2}.$$

Когда величина удельной инфильтрации стоков мала, а проницаемость  $km$  нижнего пласта такова, что некоторым увеличением

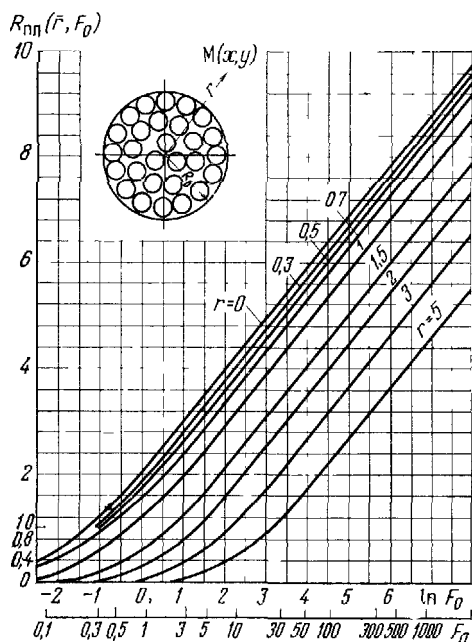
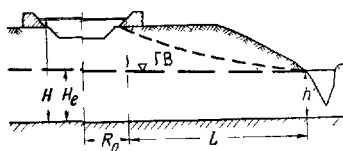


Рис. 47. График  $R_{\text{пл}} = f(\bar{r}, F_0)$  к формуле (98)

Рис. 48. Схема к расчету фильтрации из накопителя; основание однородное, водоносный пласт полуограниченный



мощности обводненной части слоя  $m_2$  и уклона потока грунтовых вод отвод инфильтрующихся стоков по пласту обеспечивается полностью, величина  $S$  будет оставаться на весь период эксплуатации хранилища меньше величины  $H_e + \Delta H_e$ . Расход из хранилища при этом будет определяться по формуле (97)

В противном случае величина  $S$  через некоторое время окажется равной  $H_e + \Delta H_e$ ; это будет означать, что произошло смыкание фильтрационного потока стоков с потоком грунтовых вод и что стадия свободной фильтрации закончилась и началась стадия фильтрации с подпором. С этого момента потери стоков из хранилища на фильтрацию можно определить [35] по формуле

$$Q = \frac{2\pi km \Delta H}{R_e + \xi}, \quad (99)$$

где

$$R_c = \ln \frac{1,5 \sqrt{at}}{R_0}; \quad (100)$$

$km$  — проводимость толщи грунтов в основании хранилища и на пути растекания стоков, приведенной к однородной в фильтрационном отношении;

$\xi$  — дополнительное сопротивление, учитывающее неполную врезку хранилища в водоносный пласт и наличие на его дне слабофильтрующего слоя, равное

$$\xi = \frac{1}{\lambda R_0} = \frac{I_0 (\alpha R_0)}{\alpha_0 I_1 (\alpha R_0)}, \quad (101)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{k_0}{k m m_0}}, \quad (102)$$

$$\alpha_0 = \frac{km}{(km)'}. \quad (103)$$

Здесь  $(km)'$  — проводимость пласта в области его простираения за пределами хранилища; если  $(km)' = km$ ,  $\alpha_0 = 1$ .

Водоносный пласт полуограниченный. Основание однородное (рис. 48). Здесь, как и в предыдущих случаях, время от начала инфильтрации стоков до смыкания их фильтрационного потока с потоком грунтовых вод определяется по формуле (78), а объем фильтрационных потерь стоков из хранилища за это время — по формуле (79). С момента смыкания начнется фильтрация с подпором. До момента, пока граница пласта не оказывает влияния на фильтрацию из хранилища, пласт следует рассматривать неограниченным, фильтрацию неустановившейся и потери стоков из хранилища на фильтрацию определять по формулам (88), (89).

Время, по истечении которого на фильтрацию из хранилища начинает влиять граница пласта, определяется по формуле [153]

$$t_{\text{гп}} = \frac{\mu L^2}{2k h_{\text{ср}}}, \quad (104)$$

где  $L$  — расстояние от хранилища до границы пласта;

$h_{\text{ср}}$  — средняя мощность водоносного пласта,

$$h_{\text{ср}} = \frac{H + h}{2}.$$

Остальные обозначения прежние.

Со времени, когда на фильтрацию из хранилища начнет влиять граница пласта, фильтрация по-прежнему будет неустановившейся, а пласт ограниченный. В этот период фильтрационный расход из хранилища может быть определен [39] по формуле

$$Q = 2\pi k (H^2 - H_0^2) \Delta H [R_{\text{пл}}(\bar{r}, F_0) - R_{\text{пл}}(\bar{\rho}, F_0)], \quad (105)$$



$\bar{\rho} = \frac{\rho}{R_0}$  ( $\rho$  — расстояние от центра реального хранилища до центра хранилища, зеркально отображенного относительно границы пласта). Остальные обозначения прежние.

Время, по прошествии которого стоки, фильтруясь из хранилища, достигнут границы пласта (реки, озера, водохранилища), определяется по формуле

$$t_p = \frac{\mu L^2}{k(H-h)}. \quad (106)$$

При  $t \geq t_p$  фильтрация будет установившейся и фильтрационный расход из хранилища может быть определен по формуле

$$Q = \frac{\pi k (H^2 - H_e^2)}{\ln 2L - \ln R_0}. \quad (107)$$

Когда хранилище вытянуто параллельно реке и при этом его длина значительно (в 5—10 раз) больше расстояния до реки,

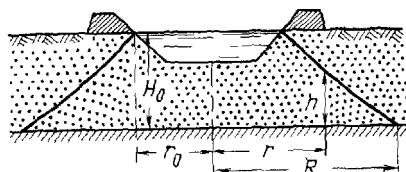


Рис. 49. Схема к расчету растекания проток из накопителя в «сухие» грунты

фильтрационный расход при установившемся режиме фильтрации можно определить по формуле

$$Q = \frac{\pi k (H^2 - h^2)}{2L} B, \quad (108)$$

где  $B$  — ширина потока.

При двухслойном основании хранилища в условиях полуограниченного пласта потери на фильтрацию из хранилища можно определить в период, когда  $t < t_r$ , по формуле (105), когда  $t \geq t_r$  — по формулам (107), (108), приводя двухслойную толщу грунтов к однослойной в фильтрационном отношении.

**Фильтрация в сухие грунты.** При фильтрации сточных вод из хранилища в сухие грунты (рис. 49) расчеты  $t_p$  и  $V$ , пока инфильтрационный поток не достигнет водоупора, проводятся по формулам (78), (79). После достижения инфильтрационным потоком водоупорного ложа расход на фильтрацию может быть определен по формуле [39]

$$Q = \frac{\pi k h_0}{\ln \frac{R}{R_0}}, \quad (109)$$

где  $Q$  — искомый расход на фильтрацию;

$k$  — коэффициент фильтрации сухих грунтов;

$h_0$  — высота столба воды в хранилище;

$\bar{R}_0 = \frac{R}{R_0}$  ( $R$  — радиус питания сухих грунтов инфильтрационным потоком из хранилища,  $R_0$  — радиус хранилища).

Уровни сточных вод, растекающихся в сухих грунтах по водопору, на любой момент времени в любой точке за пределами хранилища могут быть найдены по формуле [39]

$$h = h_0 \sqrt{\frac{\ln \bar{R}_0 - \ln \bar{r}}{\ln \bar{R}_0}}, \quad (110)$$

где  $h$  — искомая мощность обводненной части сухих грунтов над водопором в точке с координатой  $r$ ;

$\bar{r} = \frac{r}{R_0}$  ( $r$  — координата точки от центра хранилища, в которой определяется  $h$ ).

Остальные обозначения прежние.

Значение  $R$  может быть определено с использованием уравнения [39]

$$f_0 = \frac{4kh_0t}{nR_0^2} = \sqrt{\pi} \bar{R}_0^2 \left[ \sqrt{2 \ln \bar{R}_0} - \frac{2}{\bar{R}_0^2} \operatorname{erfi}(\sqrt{2 \ln \bar{R}_0}) \right], \quad (111)$$

где  $n$  — пористость сухих грунтов, в которые фильтруются стоки.

Значения функции  $\operatorname{erfi} i(z)$ , входящей в уравнение (111), приведены в табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Значения функции  $\operatorname{erfi} i(z)$

$z^*$	$\operatorname{erfi} i(z)$	$z^*$	$\operatorname{erfi} i(z)$	$z^*$	$\operatorname{erfi} i(z)$	$z^*$	$\operatorname{erfi} i(z)$
1,00	1,46	1,26	2,41	1,52	4,26	1,78	8,36
1,02	1,52	1,28	2,51	1,54	4,47	1,80	8,85
1,04	1,58	1,30	2,62	1,56	4,69	1,82	9,38
1,06	1,64	1,32	2,73	1,58	4,92	1,84	9,95
1,08	1,70	1,34	2,85	1,60	5,17	1,86	10,57
1,10	1,76	1,36	2,97	1,62	5,44	1,88	11,23
1,12	1,83	1,38	3,10	1,64	5,73	1,90	11,94
1,14	1,91	1,40	3,24	1,66	6,03	1,92	12,71
1,16	1,98	1,42	3,39	1,68	6,36	1,94	13,54
1,18	2,06	1,44	3,54	1,70	6,70	1,96	14,43
1,20	2,14	1,46		1,72	7,08	1,98	15,40
1,22	2,23	1,48	3,88	1,74	7,47	2,00	16,45
1,24	2,32	1,50	4,06	1,76	7,90		

\*  $z = \sqrt{2 \ln \bar{R}_0}$ .

Значения  $\bar{R}_0 - f(f_0) = \frac{4kh_0 t}{hR_0^2}$  к формулам (109) – (110).

Составлена Г. А. Жмуровой

$f_0^*$	$\bar{R}_0$	$f_0^*$	$\bar{R}_0$	$f_0^*$	$\bar{R}_0$
	1,1	79,37	6,0	1 256,12	19,0
	1,2	82,88	6,1	1 410,27	20,0
	1,3	86,47	6,2	1 574,14	21,0
	1,4	90,13	6,3	1 747,69	22,0
	1,5	93,88	6,4	1 930,61	23,0
	1,6	97,69	6,5	2 123,52	24,0
	1,7	101,60	6,6	2 325,95	25,0
0,16	1,8	105,58	6,7	2 538,39	26,0
0,59	1,9	109,65	6,8	2 760,21	27,0
1,09	2,0	113,80	6,9	2 992,30	28,0
1,65	2,1	118,03	7,0	2 334,37	29,0
2,29	2,2	122,33	7,1	3 486,59	30,0
2,99	2,3	126,71	7,2	3 748,50	31,0
3,76	2,4	131,18	7,3	4 020,70	32,0
4,60	2,5	135,73	7,4	4 302,79	33,0
5,51	2,6	140,37	7,5	4 594,85	34,0
6,48	2,7	145,08	7,6	4 897,54	35,0
7,53	2,8	149,90	7,7	5 210,33	36,0
8,64	2,9	154,76	7,8	5 533,32	37,0
9,82	3,0	159,73	7,9	5 866,55	38,0
11,08	3,1	164,78	8,0	6 210,17	39,0
12,40	3,2	169,90	8,1	6 564,19	40,0
13,79	3,3	175,11	8,2	6 927,67	41,0
15,26	3,4	180,43	8,3	7 302,80	42,0
16,79	3,5	185,79	8,4	7 687,43	43,0
18,40	3,6	191,25	8,5	8 082,81	44,0
20,08	3,7	196,83	8,6	8 489,02	45,0
21,84	3,8	202,44	8,7	8 906,20	46,0
23,66	3,9	208,17	8,8	9 333,11	47,0
25,56	4,0	214,00	8,9	9 769,64	48,0
27,53	4,1	219,85	9,0	10 218,7	49,0
29,58	4,2	225,81	9,1	10 677,7	50,0
31,70	4,3	231,67	9,2	11 146,5	51,0
33,90	4,4	238,01	9,3	11 626,6	52,0
36,16	4,5	244,23	9,4	12 118,3	53,0
38,51	4,6	250,53	9,5	12 618,1	54,0
40,93	4,7	256,94	9,6	13 131,5	55,0
43,42	4,8	263,43	9,7	13 654,7	56,0
46,00	4,9	270,00	9,8	14 188,1	57,0
48,64	5,0	276,65	9,9	14 731,0	58,0
51,37	5,1	283,37	10,0	15 286,1	59,0
54,17	5,2	355,54	11,0	15 853,5	60,0
57,05	5,3	436,37	12,0	16 431,0	61,0
60,00	5,4	526,18	13,0	17 018,5	62,0
63,04	5,5	624,81	14,0	17 616,0	63,0
66,15	5,6	732,63	15,0	18 226,1	64,0
69,33	5,7	849,54	16,0	18 846,3	65,0
72,60	5,8	975,73	17,0	19 479,1	66,0
75,95	5,9	1111,15	18,0	20 119,6	67,0

$f_0^*$	$\bar{R}_0$	$f_0^r$	$\bar{R}_0$	$f_0^*$	$\bar{R}_0$
20 772,9	68,0	28 688,6	79,0	37 951,4	90,0
21 436,3	69,0	29 471,2	80,0	38 856,9	91,0
22 112,9	70,0	30 268,4	81,0	39 778,2	92,0
22 799,2	71,0	31 080,1	82,0	40 710,3	93,0
23 497,0	72,0	31 898,2	83,0	41 658,5	94,0
24 204,4	73,0	32 730,7	84,0	42 611,6	95,0
24 925,3	74,0	33 569,2	85,0	43 575,1	96,0
25 653,0	75,0	34 422,7	86,0	44 555,0	97,0
26 394,4	76,0	35 286,3	87,0	45 546,1	98,0
27 150,1	77,0	36 165,9	88,0	46 540,7	99,0
27 912,2	78,0	37 050,7	89,0	47 560,7	100,0

$$* f_0 = \frac{4kh_0 t}{nR_0^2}$$

Для облегчения расчетов в табл. 9 приведены значения  $\bar{R}_0$ , соответствующие тому или иному значению  $f_0$ , которое в каждом конкретном случае определяется по фактическим данным  $k$ ,  $h_0$ ,  $n$ ,  $R_0$  и принимаемому в расчет времени  $t$ . По значению  $\bar{f}_0$  из табл. 9 находится значение  $\bar{R}_0$ , а по нему

$$R = \bar{R}_0 R. \quad (112)$$

Задаваясь далее любой координатой  $r$  в пределах  $R$  (см. рис. 49), можно найти  $\bar{r}$ . Имея значения  $\bar{R}_0$  и  $\bar{r}$ , определяем по формуле (110) величину  $h$ .

## **ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИЯХ С ОСОБЫМИ ПРИРОДНЫМИ УСЛОВИЯМИ**

Особые природные инженерно-геологические условия характеризуются наличием толщ лёсса и лёссовидных просадочных грунтов, оползней, карста, вечномёрзлых пород, набухаемых и засоленных грунтов, а также высокой сейсмичностью района.

Инженерно-геологические исследования на таких территориях выполняются в том же составе и теми же методами, что и на территориях с обычными условиями, но с учетом специфических требований к проектированию и строительству сооружений в данных особых условиях, выражающихся в более углубленном, чем в обычных инженерно-геологических условиях, проведении изысканий и постановке специальных исследований применительно к данному виду условий.

### **1. ИССЛЕДОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИЯХ, СЛОЖЕННЫХ ПРОСАДОЧНЫМИ ГРУНТАМИ**

В общем случае пористость нормальных связных грунтов (пород), образовавшихся в условиях достаточного увлажнения, находится в прямой зависимости от давления, которое они испытывают на той или иной глубине в толще земной коры и длительности времени их существования. Поэтому с увеличением глубины залегания пород и времени их пористость уменьшается. Структурные связи в таких породах являются на каждый момент времени «законченными», адекватно соответствующими их физическому состоянию — плотности — влажности. Такие породы при длительном существовании под данной нагрузкой оказываются уплотненными.

Когда образование породы происходит в условиях недостаточной увлажненности, возникающие в ней на стадии седиментации структурные связи становятся как бы каркасом, защищающим породу от уплотнения, соответствующего давлению. В этом случае порода оказывается недоуплотненной, способной при изменении условий существования доуплотниться, обрести «нормальное» состояние. Таким изменением условий может быть дополнительное увлажнение породы, ослабляющее структурные связи, снимающее тем самым преждевременное сопротивление породы сжатию и приводящее к ее оседанию, к ее просадке. «Таким обра-

зом, для появления в породе просадочных свойств (недоуплотненного состояния) необходимым и достаточным условием является ее образование и позднейшее погребение в засушливом климате, способствующем созданию и сохранению в породе водонестойких коллоидно-солевых связей [81].

Просадочность грунтов представляет собой их свойство мгновенно уплотняться при замачивании в напряженном состоянии от собственного веса или от последующей дополнительной внешней нагрузки.

Просадочность присуща в наибольшей степени типичным лёссам — однородным неслоистым осадочным породам, состоящим главным образом из частиц пыли (фракций  $0,05—0,005$  мм  $> 50\%$ ), глины (фракций  $< 0,005$  мм) и мелкого тонкого песка (фракций  $0,025—0,05$  мм) и минералогически представленным кварцем преобладает), вторичными глинистыми минералами, углекислым кальцием, слюдой и другими минералами.

Для типичных лёссов характерным является: палево-желтый, буровато-желтый и светло-серый цвета, небольшая влажность ( $G < 0,06—0,8$ ), столбчатая отдельность, способность удерживаться в вертикальных обрывах обнажений и откосах выемок, высокая (более  $40\%$ ) пористость и видимая невооруженным глазом макропористость, наличие тонких ходов (каналов) от отмерших корней растений, засоленность карбонатом кальция и другими растворимыми в воде солями, быстрое, сопровождающееся бурным выделением воздуха размокание отдельных комков породы с полной потерей структурных связей, вскипание от  $10\%$ -ного раствора соляной кислоты, наличие в общей толще одного или нескольких горизонтов погребенных почв.

Просадочными свойствами обладают и так называемые лёссовидные суглинки и другие лёссовидные грунты, имеющие внешнее сходство с лёссами, но отличающиеся от последних составом и неоднородностью сложения (наличием прослоев и линз песков, гравия, мелкого щебня и др.). С подобного рода просадочными грунтами (суглинками и супесями с прослоями и линзами гравия и мелкого щебня) автору приходилось иметь дело при исследовании пролювиально-делювиальных отложений оврагов и балок правобережья Волги в районе г. Саратова. Нелёссовидные покровные суглинки района нижнего течения Волги также просадочны. В отдельных районах страны просадочными оказываются и пески [124]. Таким образом, просадочность грунтов связана не столько с их составом, сколько с физическим состоянием, т. е. степенью плотности, точнее недоуплотненности — свойством, которое обретают эти грунты в процессе образования и сохраняют при своем существовании.

Именно с этим свойством лёссов и лёссовидных грунтов связаны наблюдаемые в практике деформации зданий и сооружений, возведенных без его учета. С этим свойством грунтов, когда оно выявлено, связано и принятие в проектах специальных, нередко

дорогостоящих мероприятий, не требующихся в нормальных грунтовых условиях. Поэтому выявлению просадочности грунтов и количественной оценке этого явления должно уделяться при изысканиях особое внимание. При этом в методическом плане целесообразно соблюдение последовательности: вначале качественное определение просадочности грунтов, затем при наличии у них этого свойства — количественная его оценка.

Качественная оценка просадочности может быть проведена по имеющимся материалам предыдущих исследований — литературных и фондовых; морфологическим особенностям района (участка) размещения проектируемых сооружений (наличие пологих локальных понижений или четко выраженных просадочных блюдц); генезису, составу, сложению и другим признакам просадочных грунтов, перечисленным выше; величине объемной массы скелета грунтов — обычно невысокой (не более  $1,5 \text{ г/см}^3$ ) для просадочных грунтов и низкой естественной влажности, при которой степень водонасыщения не более 0,8; глубине залегания уровня грунтовых вод, амплитуде его колебания, высоте капиллярной зоны (при мощности зоны аэрации более 5 м можно предполагать с учетом других факторов наличие просадочных свойств грунтов), высотному положению участка (площадки) по отношению к горизонту паводковых вод и продолжительности его стояния (грунты на заливаемых в паводок местах или заливавшихся в прошлом, как правило, не просадочны); результатам строительства и эксплуатации имеющихся в районе (на участке) сооружений.

Просадочность характеризуется также следующими показателями:

- дисперсностью пород;
- характером структурных связей;
- степенью агрегированности;
- степенью литификации;
- уплотнением

$$k_{\pi} = \frac{\varepsilon_{\tau}}{\varepsilon_0}, \quad (113)$$

где  $\varepsilon_{\tau}$  — коэффициент пористости грунта при его влажности на границе текучести,

$\varepsilon_0$  — коэффициент пористости грунта естественного сложения при естественной влажности;

- уплотненностью

$$k_d = \frac{\varepsilon_{\tau} - \varepsilon_0}{\varepsilon_{\tau} - \varepsilon_p}, \quad (114)$$

где  $\varepsilon_p$  — коэффициент пористости грунта при его влажности на границе пластичности;

- критической влажностью

$$W_{кр} = 0,65 \frac{n - 30}{1 - 0,01n}, \quad (115)$$

где  $n$  — пористость грунта, %;

— дефицитом коллоидно-дисперсной фракции грунта

$$D_{\phi} = 1 - (1,27 + 2,1x) \left( 1 - \frac{100 - n}{100} \right) \quad (116)$$

(при содержании фракции  $< 0,005$  мм менее 7%) и

$$D_{\phi} = 1 - 1,82 \left( 1 - \frac{100 - n}{100} \right) \left[ 1 - \frac{x}{100} \right] \quad (117)$$

(при содержании фракции  $< 0,005$  мм более 4%),

где  $n$  — пористость грунта, доли единицы,

$x$  — содержание фракции  $< 0,005$  мм по микроагрегатному анализу, %.

При  $k < 1$ ,  $k_d$  с отрицательным значением,  $W_{кр} > W$  и  $D_{\phi} < 0$  грунты могут быть отнесены к просадочным, подлежащим исследованию на просадочность прямыми методами [124].

Согласно СНиП II—15—74 к просадочным относятся лёссы и лёссовидные грунты с  $G < 0,8$  м и показателем просадочности П

$$П = \frac{\epsilon_T - \epsilon_0}{1 + \epsilon_0} \quad (118)$$

меньше значений, приведенных в табл. 10.

Т а б л и ц а 10

Число пластичности и значения показателя П  
лёссов и лёссовидных грунтов

Число пластичности грунта	$0,01 \leq I_p \leq 0,1$	$0,1 \leq I_p \leq 0,14$	$0,14 \leq I_p \leq 0,22$
Значение показателя П	0,1	0,17	0,24

При инженерно-геологических исследованиях в районах, сложенных лёссами, лёссовидными и другими грунтами, подлежащими оценке на просадочность, следует различать в соответствии с СНиП II—15—74 понятия: просадочность грунтов, оцениваемую коэффициентом относительной просадочности, и просадочность толщи грунтов, измеряемую линейными единицами. Это имеет большое практическое значение при выборе площадок для строительства — сопоставлении и оценке условий строительства на площадках, сложенных просадочными грунтами, не одинаковыми по мощности и величине относительной просадочности, и технико-экономическом обосновании ухода с площадок с просадочными грунтами на площадки с нормальными грунтами. Может оказаться, что для обеспечения устойчивости сооружений на площадке с высокой относительной просадочностью грунтов и малой мощностью потребуются более простые мероприятия, чем на площадке с малым коэффициентом просадочности грунтов, но большой их мощностью, а стоимость удлинения коммуникации



при уходе на площадку с непросадочными грунтами может быть ниже стоимости мероприятий по освоению площадки с мощной толщей просадочных грунтов.

При инженерно-геологических изысканиях в районе (на участках) распространения лёссовых, лёссовидных и других грунтов с возможной просадочностью инженерно-геологическая съемка выполняется общепринятыми методами. При этом главным объектом съемки является толща просадочных (возможно, просадочных) грунтов, а объектами наблюдений и полевой документации — общий характер рельефа и особенности микрорельефа, текстура и структура грунтов в вертикальном разрезе (по обнажениям и искусственным выработкам), содержание и распределение карбонатных и других включений в грунте, горизонты погребенных почв (их число, мощность и строение), влажность грунтов. При съемках следует максимально использовать промонны и обрывы в лёссовых породах (в оврагах, балках), по которым лучше, чем в шурфах, можно в кажущейся однообразной толще выделить (по цвету, его оттенку, структуре и другим, иногда едва уловимым признакам) отдельные горизонты. При детальном исследовании грунты этих горизонтов могут оказаться неодинаковыми по просадочности.

Толща лёсса, лёссовых и других грунтов с возможной просадочностью должна быть разведана и опробована на всю мощность. Разведка может быть проведена бурением скважин и проходкой шурфов. Для общего освещения геолого-литологического строения площадки разведочные выработки могут быть размещены по сетке  $100 \times 100$  м; из общего числа выработок шурфов должно быть не менее 30%. Пробы грунтов на исследование должны отбираться из шурфов не реже чем через 2 м по всему разрезу толщи.

Для техно-рабочего и рабочего проектов исследование просадочности грунтов следует выполнять под каждое сооружение.

Просадочность грунтов оценивается, как известно, величиной относительной просадочности  $\delta_{пр}$ , определяемой по результатам лабораторных исследований по формуле

$$\delta_{пр} = \frac{h' - h_{пр}}{h_0}, \quad (119)$$

где  $h'$  — высота образца грунта ненарушенной структуры и естественной влажности, обжатого без бокового расширения давлением  $P_1$ , воздействующим на глубине отбора исследуемого монолита и равным так называемому бытовому давлению в сумме с давлением от веса проектируемого сооружения

$$P_1 = \sigma_6 + \sigma_c \quad (120)$$

или давлением  $P_2$  — только от веса вышележащих грунтов

$$P_2 = \sigma_6; \quad (121)$$

$h_{np}$  — высота того же образца после его замачивания до полного водонасыщения под тем же заданным давлением  $P_1$  или  $P_2$ ;

$h_0$  — высота того же образца грунта ненарушенной структуры и естественной влажности, обжатого без возможности бокового расширения давлением  $P_2$ ;

$\sigma_6$  — напряжение от собственного веса;

$\sigma_c$  — то же, от сооружения.

Деформации-просадки учитываются при проектировании оснований зданий и сооружений лишь при  $\delta \geq 0,01$ . При высоте образца  $h'$ , соответствующей давлению  $P_1$ , величина относительной просадочности используется для расчета деформации в пределах деформируемой зоны грунтов основания от подошвы фундамента до глубины, на которой  $\sigma_6 + \sigma_c$  равна начальному давлению просадки  $P_{np}$ , а при  $h'$ , соответствующей  $P_2$ , — для расчета деформаций, происходящих в нижней части просадочной толщи с глубины, где  $\sigma_6 = P_{np}$ , до нижней границы просадочной толщи.

Относительная просадочность грунтов может быть определена лабораторным и полевым методами. В лабораторных условиях  $\delta_{np}$  может быть определена по методу одной кривой, когда испытанию подвергается образец (в одном кольце), обжимаемый до заданной нагрузки в сухом состоянии, замачиваемый при этой нагрузке и выдерживаемый под ней до стабилизации осадки, а затем испытываемый далее под нагрузками больше заданной, и по методу двух кривых, когда образец испытывается параллельно в двух кольцах: в одном в сухом состоянии, в другом — в мокром. Преимущества метода двух кривых по сравнению с методом одной кривой в том, что по его результатам можно получить значение  $\delta_{np}$  для любого давления в пределах проведенного эксперимента, тогда как по методу одной кривой  $\delta_{np}$  получают лишь для давления, при котором произведено замачивание грунта, а для определения  $\delta_{np}$  при других давлениях необходимо испытывать каждый раз новый образец.

Недостатком метода двух кривых является увеличение в два раза объема лабораторных работ, особо строгое требование к однородности грунта в обоих опытных кольцах и к объемной массе грунта в этих кольцах (расхождение должно быть менее  $0,02 \text{ г/см}^3$ ), что практически трудно соблюсти.

Исключить недостатки этих методов можно путем определения  $\delta_{np}$  по методике, приведенной в работе [53], согласно которой по замоченному образцу грунта определяется характер его компрессии при малых давлениях. График компрессии (рис. 50, а, компрессия I) строится в полулогарифмическом масштабе. Если график окажется прямолинейным, образец грунта с естественной влажностью обжимается до нагрузки  $3 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . При этой нагрузке грунт замачивается, выдерживается до стабилизации осадки и да-

лее испытывается под нагрузками до  $5 \cdot 10^5$  Па. В результате получается компрессия такого вида, какая она получалась в свое время при испытании просадочных грунтов по НГТУ—6—48 (рис. 50, а, компрессия 2). На графике отрезок 2'' компрессии 2 продлевается влево до пересечения с отрезком 2'. По разности ординат компрессий 2 и 3 можно определить  $\delta_{пр}$  для любого давления в интервале  $(3-0,5) \cdot 10^5$  Па.

В том случае, когда график компрессии замоченного до испытания и испытанного под малыми давлениями образца оказывается криволинейным (рис. 50, б), образец для определения  $\delta_{пр}$  исследуется, как и в первом случае, т. е. обжимается нагрузками до

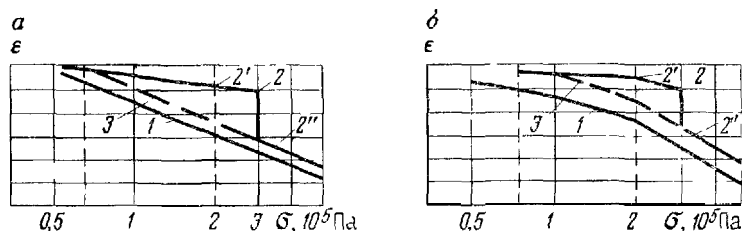


Рис. 50. Логарифмические графики определения  $\rho_{пр}$  методом двух кривых по результатам испытания одного образца.

а — компрессии грунта с естественной влажностью и замоченного (логарифмические);  
б — компрессии грунта с естественной влажностью и замоченного (криволинейные)

$3 \cdot 10^5$  Па при естественной влажности, замачивается при этой нагрузке и далее в замоченном состоянии испытывается под давлениями до  $5 \cdot 10^5$  Па. По данным этих испытаний строится график компрессии 2, на него наносится кривая компрессии 1 мокрого образца, испытанного в начале эксперимента; отрезок 2'' компрессии 2 продлевается (параллельно компрессии 1) до пересечения с отрезком 2';  $\delta_{пр}$  определяется, как и в первом случае по разности ординат между компрессиями 2 и 3.

В полевых условиях относительная просадочность грунтов определяется опытными нагрузками на штамп площадью не менее  $0,2 \text{ м}^2$ . До заданной нагрузки, при которой необходимо определить  $\delta_{пр}$  (обычно это нагрузки на грунты от веса проектируемых сооружений), опыты ведутся по методике для обычных непросадочных грунтов. При достижении стабилизации осадки «сухого» грунта под штампом с заданной нагрузкой грунт замачивают и наблюдения ведут до полной стабилизации осадок. Далее опыты ведут с мокрым грунтом под штампом ступенями до принятых по программе удельных нагрузок.

Замачивание грунта ведется непрерывно от момента замачивания до полного затухания осадок от последней ступени нагрузки. Для этого в опытном шурфе в течение всего опыта должен поддерживаться постоянный слой воды высотой не более 5 см над дном шурфа (точнее над поверхностью слоя обратного фильтра

толщиной около 2—3 см, создаваемого на дне опытного шурфа для установки штампа для защиты исследуемых грунтов от разжижения и размыва при их замачивании).

Методика полевых опытов по определению относительной просадочности грунтов приведена в работах [68, 124]. По результатам полевых опытов могут быть определены как  $\delta_{пр}$  для любого заданного давления, так и модуль деформации  $E$  по формуле

$$E = (1 - \mu^2) wd \frac{\Delta P}{\Delta S}, \quad (122)$$

где  $\mu$  — коэффициент бокового расширения грунта (коэффициент Пуассона), имеющий следующие значения для различных грунтов: глины — 0,42, суглинки — 0,35, супеси — 0,32, пески — 0,30;

$w$  — безразмерный коэффициент, зависящий от жесткости и формы штампа, равный для круглого штампа 0,8;

$d$  — диаметр штампа, см;

$\Delta P$  — приращение удельной нагрузки на штамп, равное разности между удельными нагрузками от  $P_i$  (от очередной ступени нагрузки) и  $\sigma_6$ ;

$\Delta S$  — приращение осадки штампа, соответствующее значению  $\Delta P$ , см.

При определении  $E$  должны быть соблюдены условия, предусмотренные ГОСТ 12374—66.

В полевых условиях проводятся опыты и для выявления типа грунтовых условий, т. е. для определения величины просадки толщи грунтов от их собственного веса при замачивании. Эти опыты проводятся при мощных (более 5 м) толщах потенциально просадочных грунтов. Они выполняются в котлованах с размером сторон не менее 20×20 м, а при мощности толщи просадочных грунтов более 20 м — не менее величины мощности этой толщи. До подачи воды в котлован на его дне укладывают в виде обратного фильтра слой песка и гравия толщиной до 10 см для защиты грунтов от размыва и размягчения. Дно опытного котлована располагают на отметке, с которой необходимо определять просадку толщи грунтов. Постоянный слой воды в котловане должен быть не менее 0,5 м. Длительность полного промачивания толщи грунтов (в сут) может быть ориентировочно (с некоторым запасом) определена по формуле [124]

$$T = \frac{H}{k}, \quad (123)$$

где  $H$  — мощности толщи исследуемых грунтов, м;

$k$  — коэффициент фильтрации грунтов, м/сут.

Наблюдения за общей и послойной просадкой грунтов ведутся по специальным поверхностным и глубинным реперам, устанавливаемым на дне и вне котлована [124].

По лабораторным и полевым исследованиям наряду с относительной просадочностью устанавливается и так называемое ми-

нимальное начальное давление просадочности ( $P_{\text{нпр}}$ ), представляющее собой давление, под которым в полностью водонасыщенном грунте проявляются его просадочные свойства. Согласно СНиП II—15—74 давление  $P_{\text{нпр}}$  по результатам лабораторных компрессионных испытаний равно давлению  $P$ , при котором  $\delta_{\text{пр}} = 0,01$ , по результатам полевых штамповых испытаний —  $P$ , отвечающему пределу пропорциональности на графике  $S = f(P)$ , по результатам опытного замачивания грунтов в котлованах — значению  $P$  только от веса грунтов на глубине, с которой полностью промоченные грунты обнаруживают посадку.

Наряду с понятием «начальное давление просадочности» учитывается понятие «начальная влажность просадочности» — минимальная влажность, при которой просадка грунта при данном давлении составляет 1%. Зависимость  $\delta_{\text{пр}}$  от влажности при данном давлении выражается примерно прямой линией со значением  $\delta_{\text{пр}}$  от нуля при  $G \approx 0,6$  до  $\delta_{\text{пр. max}}$  при значении  $G$ , соответствующем верхнему пределу влажности — просадочности, т.е. влажности, выше которой при данном давлении  $\delta_{\text{пр}} = f(G) = \text{const}$  [53, 81]. Это положение может быть использовано для определения  $\delta_{\text{пр. н}}$  при значении  $G$  между нижним и верхним пределами влажности — просадочности по формуле

$$\delta_{\text{пр. н}} = \frac{W_{\text{н}} - W}{W_{\text{п}} - W} \delta_{\text{пр. п}}, \quad (124)$$

где  $\delta_{\text{пр. н}}$  — искомая величина относительной просадочности при влажности неполного водонасыщения;  $W_{\text{п}}$ ;

$W$  — влажность грунта до его увлажнения (естественная или промежуточная);

$W_{\text{п}}$  и  $\delta_{\text{пр. п}}$  — соответственно влажность и относительная просадочность грунта при его полном водонасыщении [81].

## 2. ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ КАРСТА

Карст как физико-геологическое явление возникает, развивается в земной коре и проявляется на ее поверхности в областях, сложенных растворимыми в воде породами: известняками, доломитами, ангидритами, гипсами, каменной солью. Однако одного лишь наличия этих пород недостаточно для образования карста: необходимо еще, чтобы через породы фильтровалась вода или чтобы они эмывались водой. Следовательно, для возникновения и развития карста необходимо также выпадение в данном районе атмосферных осадков и их проникновение в грунты в количестве, достаточном для образования подземного стока. Имеет значение также и характер поверхности земли — общий ее наклон, микро-рельеф, почвенный и растительный покровы, обуславливающие режим поверхностного стока и инфильтрацию атмосферных осад-

ков; наконец, важнейшими условиями являются глубина залегания подземных вод и положение по отношению к области карстообразования базиса эрозии. Важную роль в образовании карста и главным образом в интенсивности его процесса играет химический состав подземных вод.

Таким образом, карст является результатом взаимодействия комплекса природных факторов: климатических, геоморфологических, геологических, гидрогеологических и гидрохимических. В свою очередь, карст в дальнейшем оказывает влияние на ряд этих факторов и изменяет физический облик пород, их структуру, прочность, устойчивость и водопроницаемость, обуславливает образование качественно новых условий фильтрации и режима подземных вод, создает особый вид рельефа местности, изменяет условия поверхностного стока и режим естественных поверхностных водотоков и водоемов.

Наличие карста на осваиваемых под строительство территориях требует проведения детальных исследований его масштабов и созданных им форм в земной коре, предусмотрения специальных мероприятий, обеспечивающих устойчивость сооружений в условиях карста и постоянного наблюдения при эксплуатации сооружений за состоянием процесса карстообразования. В мировой практике строительства известно немало случаев, когда карст приводил к большим осложнениям как при строительстве, так и при эксплуатации различного рода сооружений. Особенно это относится к строительству и эксплуатации в карстовых районах гидротехнических сооружений.

Карст, образуя в горном массиве различного размера, формы и ориентировки пустоты, лишает массив первоначальной сплошности, ослабляет его общую прочность, создает в нем плановую и вертикальную фильтрационную макро- и микронеоднородность и неравномерность в отношении несущей способности пород, приводит к постепенному под собственным весом пород оседанию земной поверхности на различных по размеру площадях и к мгновенным провалам на локальных участках. Эти явления выражены на поверхности земли в форме обширных депрессий, широких пологих долин-суходолов, крупных мульд, мелких блюдеч и глубоких воронок, а в самом массиве закарстованных пород — в виде различного размера полостей, заполненных инородным материалом или водой, крупных подземных водотоков. Карст будучи следствием взаимодействия указанных выше факторов является также функцией времени. Поэтому формы и масштабы его проявления, фиксируемые сегодня, завтра могут быть иными; там, где нет еще оседаний и провалов поверхности земли от собственного веса пород над пустотами, через некоторое время они могут появиться; там, где над пустотами в карстовом массиве нет еще оседаний и провалов от собственного веса пород, они могут произойти в любой момент при дополнительной нагрузке на породы от веса сооружений. Все это должно учитываться

при инженерно-геологических исследованиях в карстовых районах.

Карст широко развит на территории СССР и приурочен к известнякам, доломитам, мелям, конгломератам и брекчиям с карбонатным цементом, гипсу, ангидритам и отложениям каменной соли. В соответствии с этим различают карст карбонатный, гипсовый, соляной.

В зависимости от глубины залегания карстующихся пород различают карст обнаженный, или открытый (карстующиеся породы выходят на дневную поверхность), скрытый, или покрытый (карстующиеся породы залегают под нерастворимыми водонепроницаемыми или водопроницаемыми породами) [119].

По отношению к уровню подземных вод различают карст в зоне аэрации и в зоне аэрации и постоянного водонасыщения. Применительно к гидротехническому строительству карст речных долин и прилегающих к ним водораздельных пространств делится по гидродинамическим условиям [84] на: 1) связанный с дренирующим влиянием близких и удаленных эрозионных врезов; 2) связанный с дренирующим влиянием зон тектонических нарушений и обусловленный при этом нисходящим или восходящим движением подземных вод. В более широком плане по геоструктурному принципу выделяется карст платформенный и складчатых областей.

Приведенное выше деление карста по литологическому принципу, условиям залегания карстующихся пород, а также по гидродинамическому и геоструктурному принципам имеет определенное практическое значение и для инженерно-геологических исследований при оценке карста как негативного в строительном отношении явления, и для проектирования при выборе строительных мероприятий, исключающих влияние карста на сооружение.

Карбонатный карст развивается как по трещинам в карбонатных породах с образованием полостей, так и по порам с последовательным образованием в них крупных пор и каверн, превращением пород в «рухляк», полным разрушением структурных связей в породе до состояния так называемой доломитовой (или известковой) муки с мелкими различной крепости обломками исходной породы. Этот тип карста характерен для известняков и в особенности для доломитов. Он изучался нами в долинах р. Артемовки и ее притоков в пермских известняках, р. Нугуш в известняках и доломитах карбона и девона, р. Черной (Крым) в юрских известняках, р. Кара-Кингир (Южный Казахстан) в известняках карбона и мергелях перми, рек Степной Зай и Шешма (Татарская АССР), р. Белой в районе городов Уфы и Благовещенска (Башкирская АССР) в нижнепермских отложениях и в других районах на участках проектировавшихся гидротехнических сооружений и водозаборов подземных вод.

Карст в долинах р. Артемовки и ее притоков (район сел Многоудобное, Харитоновки) на коренных склонах открытый и выра-

жен в форме воронок и крупных пещер, а в днищах долин — прикрытый аллювием и фиксируется по скважинам мелкими провалами бурового инструмента и отдельными зонами доломитовой муки. В днище долины р. Артемовки карст приурочен к зоне тектонического нарушения.

В долине р. Нугуш выше с. Андреевки на площади развития доломитов и известняков карбона карст также прикрыт делювиально-аллювиальными образованиями. Внешне он выражен мелкими, но заметно очерченными понижениями поверхности земли, вытянутыми главным образом вдоль подножия левого склона долины в виде узких, шириной 5—10 м ложин. В самом массиве известняков и доломитов карст представлен частым чередованием (по глубине скважин) интервалов сохранившихся пород и полностью разрушенных до состояния доломитовой муки. Карст связан здесь с дренирующим влиянием древнего переглубления русла реки и последующими явлениями неотектоники.

Выше по реке за Привольненской котловиной (за пределами водохранилища) классические формы карста (глубокие небольшого диаметра карстовые воронки-колодцы) наблюдаются на водоразделе рек Нугуш и Белой в известняках и доломитах девона, залегающих непосредственно под маломощным почвенным щебнисто-суглинистым покровом.

На некотором расстоянии от линии раздела поверхностного стока на обширном плато, полого понижающемся к долине Нугуша, наблюдаются узкие, шириной до 5—15 м и глубиной относительно общего рельефа плато до 1—2 м понижения. Слоны и тальвеги понижений задернованы, покрыты травой; в них встречаются одинокие деревья и кустарник. В понижениях местами у их тальвегов или непосредственно в тальвегах на некотором расстоянии одна от другой цепочкой расположены упомянутые выше воронки-колодцы. Стены воронок на их устье местами задернованы (при пологих бровках), местами обнажены (при крутых бровках). В эти понижения стекают дождевые и талые воды с прилегающих к ним площадей и текут к долине р. Нугуш. Однако в большинстве случаев эти воды в форме поверхностного стока не достигают долины. Их количество, постепенно уменьшается по течению от воронки к воронке и полностью поглощается последней по пути воронкой, не доходя до бровки склона долины. Здесь поверхностный сток полностью переходит в подземный. В этом виде дождевые и талые воды движутся далее к реке по подземным карстовым каналам и трещинам на глубинах до 200 м и выходят в подножии левого берегового, почти отвесного обрыва склона долины р. Нугуш в форме нисходящих источников с расходом до 0,5 м<sup>3</sup>/с и более.

Карбонатный карст в долине р. Черной изучался нами в связи со строительством на ней водохранилища и оценкой возможности пусков воды из водохранилища по руслу реки в горной ее части. Начальный поверхностный сток этой реки образуется нисходя-



щим источником, расположенным у северного подножия Яйлы (с. Скеля), с расходом в межень около 1 м<sup>3</sup>/с. Выход источника приурочен к контакту юрских известняков Яйлы и меловых глин, выполняющих Байдарскую долину. Ниже этой долины р. Черная вступает в область, сложенную известняками юры — от ущелья Кызыл-Кия (вблизи с. Широкое) до с. Верхний Чергун.

На этом отрезке долины реки протяженностью около 15 км ее русло сильно закарстовано. Поверхностный сток реки здесь несколько раз почти полностью теряется в карстовые воронки, проходит некоторое расстояние под дном реки, затем выходит в ее русло и через несколько сотен метров вновь уходит в карстовые полости. В районе с. Верхний Чергун юрские известняки сменяются глинами мела. Здесь сток реки, выйдя в русло, далее до самого моря проходит по некарстующимся породам и теряется лишь на обводнение гравийно-галечных отложений Нижне-Чергунской котловины. Горный участок долины р. Черной с развитым и впечатляющим своими формами карстом оказался тем не менее пригодным для транспортирования воды по руслу реки без всякого риска потерять ее на уход в другой бассейн. Расход воды, ушедший из русла в карстовые полости в начале участка и неоднократно ниже его, возвращался в русло на конечном участке полностью и даже с приращением, соответствовавшим увеличению водосборной площади на участке.

Карбонатный карст из-за слабой растворимости в воде известняков, доломитов, мелов развивается медленно. При исследовании карбонатного карста главное внимание должно уделяться выявлению уже имеющегося карста, его форм и масштаба проявления в плане и по глубине, а вопросы возможного за период эксплуатации сооружений образования новых карстовых форм и роста существующих практического значения не имеют. Карбонатный карст представляет опасность в том смысле, что на площади его развития могут произойти новые провалы и оседания поверхности земли над уже существующими, но не проявившимися карстовыми полостями и зонами ослабленных карстом пород, а также вынос из закарстованных пород основания гидротехнических сооружений продуктов карстового разрушения пород (доломитовой и известковой муки) и материала, заполняющего карстовые полости и трещины.

Гипсовый карст в общем опаснее карбонатного, протекает быстрее последнего и, как отмечено в работах [119, 121, 126], новое его проявление и развитие существующего может быть заметным за период эксплуатации сооружений.

Гипсы залегают среди других осадочных пород в виде пластов, прослоев, линз и гнезд. Обладая пластичностью (мягкостью в отличие от хрупкости), они менее трещиноваты, чем вмещающие их скальные породы, и поэтому карстуются (растворяются и выносятся грунтовыми водами) с кровли и подошвы пласта (гипсового тела) по контактам с выше- и нижележащими водопроницае-

мыми породами [119]. На площадях, сложенных гипсами, карст проявляется на поверхности земли, как правило, крупными воронками, широкими лощинами, суходолами и падями.

В долину р. Нугуш ниже с. Андреевки справа впадает сухая долина шириной ~0,1 км в верховьях и ~0,5 км в пределах первой надпойменной террасы р. Нугуш. Эта долина вытянута по правому склону р. Нугуш на 3—3,5 км и обязана своим происхождением карсту — растворению и выносу в р. Нугуш гипса, содержащегося в пермских отложениях. В этом же районе на правом склоне долины р. Нугуш и в особенности на водоразделе между реками Нугуш и Белой справа от дороги из с. Смаково в с. Иштуганово развито обширное поле крупных карстовых воронок диаметром до 50 м и глубиной до 10—15 м.

Гипсовый карст широко развит также в долине р. Степной Зай в районах с. Карабаш, г. Альметьевска, а также в долине р. Шешмы в районе пос. Шугурово. Карст здесь приурочен к кунгурским и сакмаро-артицким отложениям. Базисом в гидродинамическом отношении для образования карста здесь послужила долина палеозоя, образовавшаяся к началу третичного периода. Современная долина р. Степной Зай приходится на правый коренной склон долины палеозоя, где (так же, как и на левом) наиболее интенсивно развивался карст. Здесь именно и обнаруживался нами карст при изысканиях для строительства Карабашского водохранилища, водозаборов и водопроводных сооружений в районе г. Альметьевска.

Комплекс методов изучения карста включает [149]:

- геологические — структурно-литологический, геолого-карстологический, геологоразведочный, геохимический;

- геоморфологические — морфологический, морфометрический, морфогенетический, спелесо-геоморфологический, палеогеоморфологический;

- топогеодезические, гидрологические — гидрометрический, гидрохимический, гидроиндикационный;

- биологические — палинологический, биоспелеологический.

Те или иные из перечисленных методов, а также то или иное их сочетание применяются в зависимости от целей и масштаба исследований. С помощью этих методов выявляются условия возникновения и развития уже существующего карста, его возраста, форм проявления и распространения по площади и глубине карстующихся пород. Одни из этих методов являются чисто качественными, что однако, не снижает их познавательного значения, другие — содержат элементы количественной оценки карста. К числу последних относятся, например, геологоразведочный метод, с помощью которого по результатам буровых и горнопроходческих работ (физическому состоянию вскрываемых горными выработками пород, керну из скажин, «провалам» бурового снаряда, проходке инородных отложений в массиве карстующихся пород и характеру поглощения промывочной жидкости) можно

судить о размерах каверн и карстовых полостей на различных глубинах в карстующихся породах, и геолого-карстологический, позволяющий по результатам изучения карстовых форм в естественных и искусственных обнажениях количественно охарактеризовать степень закарстованности приповерхностной части пород и др.

При описании карстовых форм в обнажениях рекомендуется применять количественную классификацию, предложенную в работе [149]. Согласно этой классификации карстовые формы в зависимости от их размера делятся на поры, каверны и полости:

Карстовые формы	Размер, м
Поры круглые, небольшие . . . . .	< 0,0025
» » средние . . . . .	0,0025—0,004
» » крупные . . . . .	0,004—0,0025
Каверны круглые, овальные, небольшие . . . . .	0,0025—0,005
» » » средние . . . . .	0,005—0,01
» » » крупные . . . . .	0,01—0,025
Полости небольшие, круглые, овальные . . . . .	0,025—0,1
» средние продолговатые . . . . .	0,1—0,5
» крупные, овальные, продолговатые, сложной конфигурации . . . . .	0,5—5
» гигантские, сложной конфигурации . . . . .	5

В работах [149, 119, 139] рекомендуется оценивать и сопоставлять степень закарстованности пород по коэффициентам: линейной закарстованности,

$$k_{\text{л}} = \frac{\sum d}{nl} 100\%, \quad (125)$$

где  $\sum d$  — сумма диаметров (поперечников) карстовых форм, измеренных по прямой линии по простиранию или вкост простирания пласта;

$n$  — число замеров;

$l$  — длина линии замера;

площадной закарстованности,

$$k_{\text{п}} = \frac{\sum F_{\text{ф}}}{F} 100\%, \quad (126)$$

где  $F_{\text{ф}}$  — площадь отдельной карстовой формы (поры, каверны, полости), см<sup>2</sup>;

$F$  — площадь исследуемого участка в обнажении, см<sup>2</sup>;

объемной закарстованности,

$$k_{\text{в}} = \frac{V_2 - V_1}{V_2} 100\%, \quad (127)$$

где  $V_1$  — объем образца карстующейся породы примерно кубической формы, отбираемый из типичных карстовых участков, см<sup>3</sup>;

$V_2$  — объем того же образца с закрытыми парафином карстовыми пустотами.

К методам, содержащим элементы количественной оценки карста, относятся также морфологический (описание карстовых форм) и морфометрический (инструментальное измерение карстовых форм).

Инженерно-геологические исследования для проектирования на стадии технического (техно-рабочего) проекта выполняются на относительно небольших площадях в крупных масштабах и в короткое время. В соответствии с этим для изучения карста следует применять комплекс методов, позволяющих осветить главные вопросы проектирования и строительства сооружений в карстовых районах — прочности и фильтрационных особенностей массива пород в целом, прочности и фильтрационных свойств пород основания отдельных сооружений; прогнозировать возможность, характер и масштабы изменения (ухудшения) на исследуемом участке инженерно-геологических условий при строительстве и эксплуатации сооружений; разработать при необходимости мероприятия, обеспечивающие нормальную работу сооружений.

Такой комплекс методов должен быть объединен инженерно-геологической съемкой территории проектируемого размещения сооружений. Наряду со структурно-литологическим методом он должен включать геофизический, геолого-карстологический, геологоразведочный, морфографический методы, а также гидрометрический, гидрохимический (исследование химического состава поверхностных и подземных вод) и гидроиндикационный (с использованием красителей, электролитов, изотопов) методы, имеющие особо важное значение при проектировании водохранилищ и водозаборов подземных вод для выявления карста в долинах рек, режима карстовых источников, гидравлической связи между поверхностными и подземными водами.

При изысканиях для технического проекта проводятся, как известно, площадные топографические съемки в крупных масштабах (от 1 : 10 000—1 : 5000 — на общей площади размещения проектируемых сооружений до 1 : 1000—1 : 500 — на площадках под отдельные сооружения). Плотность (густота) точек наблюдений при этих съемках довольно высокая, позволяющая зафиксировать и нанести на план практически все участки проявления карста на поверхности земли. Необходимость этого должна быть предусмотрена в программе топогеодезических работ; исполнители-топографы должны быть подготовлены геологом в части терминологии карстовых форм и измерений при их регистрации.

Изучение карста не может считаться законченным и полноценным, если не выяснены его возраст и условия образования — характер, плановое и высотное местоположение и время существования базиса эрозии, под влиянием которого начался и закончился или продолжается процесс образования карста на исследуемой территории. Иначе нельзя уверенно судить о глубине

распространения карста, так как бурением не всегда возможно установить эту глубину, а данные геофизики нуждаются в подтверждении другими прямыми или косвенными методами.

Возраст карста может быть установлен палеогеоморфологическим (палеогеографическим) методом, базирующимся на изучении истории геологического строения области (региона), в пределах которой находится исследуемая площадь (участок). Сущность метода заключается в воспроизведении, реконструкции географической (в широком смысле) обстановки, существовавшей в прошлые геологические эпохи, путем анализа отложений нормального стратиграфического разреза. Время замыва карста (заполнения карстовых полостей рыхлыми инородными отложениями) может быть определено палинологическим методом (анализом спор и пыльцы) [110]. Последний успешно применялся автором для определения возраста террас в долине р. Нугуш и их соотношения в связи с явлениями неотектоники и карста.

Выше отмечено, что возможность образования за период эксплуатации сооружений в данных природных условиях в карбонатных породах таких по размеру карстовых форм, которые привели бы к нарушению устойчивости сооружения, практически исключена, поскольку растворимость в воде карбонатных пород в общем небольшая и на образование в массиве заметных пустот необходимо несоизмеримо большее время, чем период эксплуатации сооружений. Несмотря на это, при изысканиях для строительства в карстовом районе необходимо выяснять: протекает ли в настоящее время процесс карстообразования, интенсивность этого процесса и возможность его усиления при эксплуатации сооружений.

Необходимость исследований в этом направлении вызывается возможным наличием в карстующемся массиве аномальных зон пород по химическому составу и степени их растворимости, а также неизбежным изменением характера гидродинамических и гидрохимических условий при эксплуатации сооружений (усиление градиентов фильтрации и, следовательно, ускорение водообмена в породах основания водохранилищных, шламо- и хвостохранилищных плотин и дамб, изменение химического состава, температуры и рН грунтовых вод на участках размещения шламо- и хвостохранилищ и на площадках очистных сооружений канализации).

Поэтому наряду с изучением ранее образовавшихся и существующих на исследуемой площади карстовых форм важными задачами инженерно-геологических изысканий являются установление наличия или отсутствия современного карста и (при наличии) степени его активности в современных природных условиях, а также прогноз возможного (при отсутствии) возникновения карста, оживления древнего или усиления существующего карстового процесса в новых измененных строительством инженерно-геологических условиях. Для решения этих задач

используются натурные количественные методы исследования карста.

Эти методы для карбонатного карста основаны на изучении растворимости карстующихся пород, учете подземного стока на участке исследуемого массива и определении выносимого из него водой количества карбоната кальция. К ним относятся методы: объемный, карстово-гидрологический, карстово-гидрохимический, Корбеля, Уильямса и др. [119, 149].

По объемному методу интенсивность карстового процесса оценивается (в %) по формуле

$$A = \frac{V_1}{V_2} 100, \quad (128)$$

где  $V_1$  — объем растворяющейся породы и выносящейся подземным потоком из массива за расчетный период (по [119] за тысячелетие);

$V_2$  — объем карстующихся пород в массиве.

Для определения величины  $A$  необходимо знать объем подземного стока из массива карстующихся пород (по расходу источников из массива или расходу подземного потока через массив), приращение растворимых в фильтрующих через массив водах составных частей породы на пути от верхней до нижней границ исследуемого участка и объем карстующихся пород на участке (произведение площади залегания карстующихся пород на их мощность от уровня подземных вод до практического водоупора)\*.

Интенсивность растворения любых карстующихся пород (карбонатных, сульфатных, галоидных) может быть определена также по формуле [104]

$$B = \frac{1}{\gamma} (C_n - C_0) T \sqrt{\frac{Dv}{\pi x}} \left( 1 - e^{-\frac{h^2}{av}} \right), \quad (129)$$

где  $B$  — толщина слоя карстующихся пород, выносимых подземными водами;

$\gamma$  — плотность этих пород (карбонатных — 2,7 кг/см<sup>3</sup>, сульфатных 2, 3, галогенных — 2,1—2,2 кг/см<sup>3</sup>);

$(C_n - C_0)$  — дефицит насыщения подземных вод солью, содержащейся в растворяющейся породе;

$T$  — расчетное время;

$D$  — коэффициент диффузии (для карбонатных и сульфатных пород  $5,5 \cdot 10^{-6}$  см<sup>2</sup>/с, галогенных —  $1 \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/с);

$v$  — действительная скорость фильтрации подземных вод в карстующихся породах;

---

\* Расчетная мощность карстующихся пород для определения  $A$  может быть принята от поверхности подземных вод в массиве до глубины, на которой содержание карбоната кальция в воде на верхней границе участка практически равно фиксируемому содержанию на нижней границе.

$a$  — параметр, равный  $\frac{D}{v}$ ,

$x$  — расстояние от растворяемой поверхности до точки, для которой определяется дефицит насыщения подземных вод

Устойчивость застраиваемых территорий (площадок) в районах развития карста рекомендуется оценивать [121, 126] по среднегодовому числу карстовых провалов на 1 км<sup>2</sup> площади по формуле

$$P_k = \frac{n}{Ft}, \quad (130)$$

где  $n$  — число провалов, образовавшихся на площади  $F$  за время  $t$ , а также по среднегодовой поражаемости территории карстовыми провалами, выражаемой в процентах, по формуле

$$P_{\pi} = \frac{\sum f}{Ft}, \quad (131)$$

где  $\sum f$  — сумма площадей провалов (в м<sup>2</sup>), образовавшихся на площади за время  $t$ .

В зависимости от среднегодового числа карстовых провалов застраиваемые территории по степени устойчивости делятся на устойчивые, относительно устойчивые, пониженно устойчивые, недостаточно устойчивые и неустойчивые (табл. 11) [126].

Т а б л и ц а 11

**Деление закарстованных территорий  
по степени устойчивости для строительства**

Среднегодовое число карстовых провалов на 1 км <sup>2</sup> площади	Степень устойчивости территории
0 (образование провалов исключено)	Устойчивые
0,01	Относительно устойчивые
0,01—0,05	Пониженно устойчивые
0,05—0,1	Недостаточно устойчивые
0,1—1,0	Неустойчивые

Пригодность закарстованных территорий (участков, площадок) для строительства рекомендуется оценивать по табл. 12 [126].

Приведенная характеристика степени пригодности закарстованных территорий для строительства является условной, так как закарстованных территорий, непригодных для строительства, за некоторым исключением, практически нет. Может быть лишь различная стоимость освоения под строительство площадей, в большей или меньшей степени закарстованных и с разной степенью возможного проявления карста. Так, по нашему проекту строительная стоимость сооружений, размещаемых в районе

г. Благовещенска (Башкирская АССР) на участке закарстованной территории II категории устойчивости (среднегодовое число провалов 0,1 и более), составила 11,4 млн. руб., а там же, на участке закарстованной территории V категории устойчивости (среднегодовое число провалов менее 0,01) — 6,4 млн. руб.

Т а б л и ц а 12

Показатели пригодности  
закарстованных территорий для строительства

Среднегодовое число провалов на 1 км <sup>2</sup> площади	Степень пригодности территории
С е л и г е б н а я   з о н а	
Менее 0,01	Пригодные
От 0,01 до 0,1	Ограниченно пригодные
Более 0,1	Непригодные
П р о м ы ш л е н н а я   и   т р а н с п о р т н а я   з о н а	
Провалы исключаются	Пригодные
Менее 0,05	Ограниченно пригодные
Более 0,05	Непригодные

Сущность таких методов изучения карста при инженерно-геологических исследованиях, как топогеодезический, геофизический, геологоразведочный, гидрометрический, гидрохимический, очевидна из их названий; геолого-карстологический, морфологический, гидроиндикационный, палеогеографический и палинологический методы короткого охарактеризованы выше и подробно описаны в специальной литературе [149].

Здесь отметим, что эти методы в большинстве не только взаимосвязаны, но и часто не отделимы друг от друга, поскольку при инженерно-геологических исследованиях карст изучается комплексно: от наблюдений, регистрации, нанесения на карту, качественного и количественного описания всех видов карстовых проявлений на поверхности земли, в обнажениях и горных выработках, установлении условий и времени образования карста до прогноза возможного его оживления (при древнем затухшем карсте) или активизации (при современном действующем карсте) в новых, отличных от природных условиях, которые будут созданы при строительстве и эксплуатации сооружений.

При этом многие вопросы карста еще до начала полевых работ могут быть выявлены при целенаправленном сборе и изучении материалов предыдущих исследований, например топографических, геоморфологических, геологических и других карт, составленных в разное время, их сопоставлении между собой и с натурой, что может позволить приближенно (во времени) оценить степень активности проявления карста на поверхность



земли (показатели  $P$  и  $B$ ), годовых отчетов стационарных карстологических станций, в которых можно найти более точную характеристику этих показателей, поскольку в отчетах степень активности проявления карста приводится по данным натурных наблюдений; палеогеографических, палеогеоморфологических, палеогидрогеологических очерков, из которых можно уяснить вопросы о времени, условиях образования и глубине распространения карста

Важные сведения по карсту могут быть получены из опросов старожилов данной местности, а также пастухов, лесников, туристов. Для оценки устойчивости территории большое значение имеет изучение материалов изысканий на закарстованной площади под отдельные сооружения, их конструкций, фундаментов и условий эксплуатации, а также примененных противокарстовых мероприятий. В итоге исследований карста должны быть получены материалы, позволяющие на основе технико-экономических расчетов решить вопрос об освоении данной территории под строительство, о выборе наиболее подходящих видов противокарстовых мероприятий или переходе на другие, менее выгодные (по характеру рельефа, удаленности от источников водоснабжения и др.), но незакарстованные территории.

В качестве противокарстовых мероприятий в гидротехническом строительстве применяется главным образом цементация карстовых полостей и трещин, в промышленном строительстве — как цементация, так и мероприятия конструктивного порядка: глубокие опоры при глубине карста более 20 м, свайные фундаменты при глубине карста менее 20 м, фундаменты из сплошных плит или ленточные при небольших нагрузках от зданий и др.

Наряду с карстом в скальных породах, основной причиной возникновения и развития которого является растворение пород водой, наблюдаются сходные с ним явления в иных породах, но под влиянием других факторов или при ином взаимодействии воды и породы. Это — термокарст в мерзлых породах, кластокарст, глиняный карст, лессовый карст в мелкообломочных и связных грунтах. Такие явления носят общее название псевдокарст. В их образовании основную роль играют физические процессы — вытаивание прослоев и линз льда, содержащегося в породах, механическое воздействие на связные грунты движущейся воды (механическая суффозия), растворение водой только цемента (известкового, гипсового) мелкообломочных пород и вынос водой из массива породы мелких ее обломков, освобожденных от цемента.

К псевдокарсту может быть отнесен и так называемый гипогенный карст, встречающийся в покровных отложениях. Он образуется в результате проникновения в рыхлый четвертичный покров из коренных пород по трещинам разлома гипогенных растворов и газов, обладающих высокой коррозионной способностью [83].

### 3. ИССЛЕДОВАНИЯ В ОПОЛЗНЕВЫХ РАЙОНАХ

Под оползнями понимается самопроизвольное смещение масс горных пород вниз по естественному или искусственному склону (откосу) под влиянием силы тяжести. Оползни возникают и развиваются на естественных береговых склонах морей, озер, водохранилищ, рек, оврагов, на склонах гор и на искусственных откосах каналов, карьеров, котлованов, выемок, земляных насыпей.

Оползни проявляются тогда, когда соотношение сил, удерживающих массы грунта на склоне (откосе), и сдвигающих сил изменяется в сторону увеличения последних. Это происходит вследствие увеличения крутизны естественного склона при подмыве его водоемом, водотоком или чрезмерно крутого заложения искусственного откоса выемок, насыпей, ослабления прочности пород от выветривания, естественного и искусственного пересувлажнения пород, фильтрационного давления, воздействия сил землетрясения, внешних сил (нагрузок от сооружений, транспорта, отвалов грунта) и различных форм хозяйственной и строительной деятельности человека, осуществляемой без учета геологических особенностей той или иной территории.

На территории СССР оползни широко развиты вдоль побережья Черного моря — у г. Одессы на Южном берегу Крыма, на южном склоне Кавказа — от г. Новороссийска до г. Батуми, на берегах оз. Байкал, на правом берегу Волги — у городов Горького, Ульяновска, Саратова, Волгограда, на правом берегу Днепра — в районе г. Киева, на Северном Кавказе — в бассейнах рек Кубани, Лабы, Пшиш, Пшеха и в других районах.

Оползни образуются на склонах и откосах, сложенных глинистыми породами — покровными связными и коренными полускальными. Наибольшему оползанию подвержены склоны, сложенные чередующимися слоями глинистых пород, способных насыщаться водой, и прослоями водоупорных пород.

Наблюдаются также оползни скальных пород, происходящие чаще всего при залегании их на слоях глинистых отложений, наклоненных вниз по склону к базису эрозии, и при увлажнении поверхности этих глинистых пород атмосферными или хозяйственными водами, поступающими по системам трещин в скальных породах.

В оползневых районах накопление сил, приводящих в естественных условиях к оползанию нередко огромных масс земли, происходит медленно, в течение длительного периода, часто без видимого в это время нарушения устойчивости склона, а сам оползень оказывается лишь завершающим звеном в общем процессе оползнеобразования, проявлением момента перехода в этом процессе количества в качество. Это положение для геолога, ведущего инженерно-геологические и гидрогеологические исследования в оползневых районах, должно быть принципиальной методологической посылкой, с позиций которой устойчиво не то,

что не ползет сегодня, а то, что не содержит факторов оползнеобразования. При наличии факторов оползнеобразования устойчивые в течение длительного (в геологическом смысле) времени массы пород могут в естественных условиях внезапно прийти в движение. Искусственное изменение (ухудшение) условий устойчивости земляных масс на склоне при наличии факторов оползнеобразования может привести к проявлению оползней раньше, чем это могло бы произойти в естественных условиях, или к образованию оползней там, где в естественных условиях они бы не возникали. Этим именно определяются методологический подход к инженерно-геологическим исследованиям в оползневых районах и задачи геолога в изучении существующей обстановки, ее прогнозе на период строительства и эксплуатации проектируемых сооружений.

По возрасту пород, вовлекаемых в оползень, различают оползни покровных отложений и коренных пород. Последние представляют собой, как правило, более грозное явление, чем оползни покровных отложений (оползни на ЮБК, Черноморском побережье Кавказа, на Волге, Днестре). Изучение таких оползней и меры борьбы с ними более сложные. Однако и оползни покровных отложений при значительной их мощности (10—20 м) — впечатляющая картина. Такие оползни и исследовались автором во многих районах (на Ленгсбизском перевале по трассе нефтепровода Баку — Батуми, территории нефтепромыслов «Грузнефть», «Краснодарнефть» и др.).

По времени проявления оползни делят на древние, образовавшиеся при ином, чем в данное время, базисе эрозии, и современные, среди которых, в свою очередь, выделяют по факторам развития [115]: движущиеся (свежие, действующие), приостановившиеся, остановившиеся, закончившиеся.

В районах развития оползневых явлений наиболее безопасным в отношении плановой устойчивости местом размещения сооружений является площадь древнего оползня, базис которого был намного ниже современного базиса эрозии, имеющего надежный контрфорс в форме мощной толщи современных (послеоползневых) отложений, а также площадь современного закончившегося оползня, движущие силы которого полностью реализованы и дальнейшее его движение в естественных условиях невозможно. Однако следует учитывать, что на склонах с древними или современными закончившимися оползнями при общей в естественных условиях их устойчивости могут возникнуть локальные вторичные оползни и подвижки грунтов, если естественные условия при освоении этих площадей будут изменены в худшую сторону вследствие, например, обводнения грунтов склона, дополнительных пригрузок, крутой планировки склона и др. Более того, при подрезках и выемках в зоне языка древнего или современного закончившегося оползня он целиком может «оживиться»; при этом глубина его будет определяться уже новым искусственным базисом — высотным положением дна выемки.

Следует также учитывать, что на оползневые грунты основания, как правило, могут быть ослаблены, неоднородны по составу и могут оказаться на одной и той же горизонтальной плоскости различными стратиграфическими горизонтами. Особенно это характерно для ступенчатых оползней и оползней с повторным оползанием пород в их теле. Лишь при одноразовых оползнях — сдвигах без нарушения пород в теле оползня — последовательность их напластования соответствует естественной.

В приведенном выше определении понятия «оползень» последний рассматривается как физико-геологическое явление, имеющее

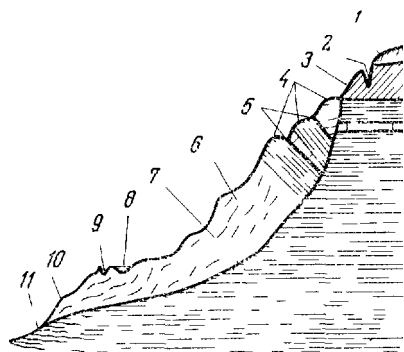


Рис. 51. Схема элементов оползня

1 — бровка срыва, 2 — трещины срыва, 3 — стенка срыва, 4 — ступени оползня, 5 — трещины разрыва, 6 — тело оползня, 7 — ложе оползня, 8 — заболоченность, 9 — трещины вспучивания, 10 — язык оползня, 11 — деформация основания оползня

в природных условиях свои причины и подготавливаемое развитием и действием многих взаимосвязанных факторов (климатических, геологических, гидрогеологических, биологических). Вместе с тем оползнем называют и собственно сползшую массу пород, рассматривая его как явление морфологическое, как элемент рельефа, имеющего специфическую форму. В этом смысле у оползня, как и у любого другого морфологического тела, различают отдельные элементы (рис. 51).

В плане оползень может иметь форму полукольца, получашки (оползневые цирки) или длинного «языка» с расширенными контурами у нижней границы. При оползне массы грунтов движутся по наклонной, часто цилиндрической формы поверхности, называемой плоскостью (зеркалом) скольжения, или ложем, оползня. Верхнюю границу ложа оползня называют бровкой срыва, обнажившуюся у бровки срыва часть ложа — стенкой срыва; высота этой стенки характеризует высоту срыва оползня. Общую массу сползших пород называют телом оползня. В пределах тела оползня сползающие породы часто разрываются на отдельные блоки со смещением по высоте одних по отношению к другим и образованием ступеней. В связи с этим на оползнях различают трещины разрыва и оползневые ступени, а в их теле — плоскости скольжения. В нижней части оползня сползшие породы часто вспучены и разделены трещинами, а коренные породы ложа деформированы; здесь же не-

редко наблюдаются заболоченность и открытые замкнутые лужи высачивающихся из оползня грунтовых вод.

Инженерно-геологические исследования в оползневых районах, как и в любых других, необходимо начинать со сбора и изучения литературных и фондовых материалов по топографии, геологии, гидрогеологии и морфологии данной местности, атмосферным осадкам и их распределению, описанию происходивших когда-либо оползней, данных эксплуатации расположенных в данной местности сооружений и коммуникаций. После этого должно быть выполнено детальное рекогносцировочное обследование территории в натуре, что позволит составить общее представление о масштабах оползневых явлений, причинах их образования и развития. Такой подход к началу изысканий в оползневых районах имеет особо важное значение, поскольку лишь в этом случае можно составить программу целенаправленных полевых и лабораторных исследований.

В состав изыскательских полевых работ должны быть включены:

1) топографическая съемка исследуемой территории в масштабе 1 : 1000—1 : 500 в зависимости от размеров площади съемки и характера рельефа. Масштаб топосъемки должен быть установлен геологом совместно с топографом. При этом геолог должен выдать специальное задание для топосъемки, предусматривающее необходимость отражения на плане всех особенностей рельефа, имеющих значение поисковых признаков и индикаторов при данных инженерно-геологических исследованиях (для облегчения работы топографа особо важные элементы, подлежащие съемке, геолог должен предварительно зафиксировать в натуре знаками);

2) комплексная инженерно-геологическая съемка, при которой должны быть выявлены состав, мощность и условия залегания коренных и покровных отложений и гидрогеологические особенности площади съемки. Съемка должна опираться на документацию естественных обнажений, специальных выработок — скважин, шурфов, расчисток и др. При инженерно-геологической съемке оползневых участков главным является не соблюдение кондиционности карты на всех ее участках, а сосредоточение максимума точек наблюдений в местах, где детальное изучение позволит в более короткий срок выявить причины оползней, установить время их образования и состояние в данный момент, оценить возможность возобновления и развития в будущем (если оползни древние или остановившиеся современные) и обосновать выбор противооползневых мероприятий. Такими местами являются прежде всего внешние границы оползней, точнее места сопряжений тела оползня по всему его периметру с «целиком».

Здесь по поперечникам, перпендикулярным к бровке срыва оползня и расположенным на всех характерных местах, не реже чем через 50 м должны быть пройдены расчистки, канавы, шурфы или скважины у бровки срыва оползня за ее пределами. Шаг

между выработками на поперечниках не более 50 м, забой выработок — ниже ложа оползня. В пределах тела оползня наибольший интерес для размещения выработок могут представить тыловые участки оползневых ступеней, сами ступени, участки развития трещин разрыва, трещин вспучивания, а на склоне («целике») места перегиба его профиля и область современного базиса эрозии.

Бурение скважин на оползневом склоне следует выполнять ударным способом с применением в качестве наконечников буровых стаканов. Вращательное бурение, в том числе колонковое с промывкой, и особенно шнековое бурение здесь неприменимы. При описании и сопоставлении керна из скважин в оползневом теле и в «целике» могут быть достаточно точно определены мощность оползня, глубина заложения и форма его ложа, наличие и характер плоскостей скольжения в самом теле оползня. Для изучения неглубоких (до 5—6 м) оползней-оплывин целесообразно применять канавы, располагая их от бровок оползня по направлению его движения. В этом случае часто можно ограничиться надежным креплением лишь длинных боковых стен канавы, оставляя верхнюю и нижнюю стенки открытыми или облегченно закрепленными и доступными для их осмотра, описания пород и отбора монолитов.

Лабораторные исследования грунтов должны выполняться по полному комплексу физико-механических и водных свойств с соблюдением общепринятой методики. Исключение должно быть лишь в отношении методики определения сопротивления грунтов сдвигу, значение которого должно соответствовать природному физическому состоянию грунтов по их плотности — влажности и прогнозируемому состоянию грунтов по плотности — влажности с учетом периода года и года наибольшей водности (по осадкам), а также характера намечаемого освоения участка склона под строительство (планировка, размещение сооружений, глубина заложения их фундаментов, обводнение грунтов при эксплуатации сооружений и др.).

На склонах в оползневых районах денудация нередко полностью скрывает внешние следы и признаки протекавших здесь иногда значительных оползневых явлений. Поэтому по внешне спокойному виду склона и кажущимся типичными для устойчивых склонов характером его рельефа и крутизной не всегда можно судить о безусловной устойчивости склона при строительстве на нем и эксплуатации сооружений. Для этого следует по общим геолого-литологическим и гидрогеологическим условиям, истории развития в данном районе рельефа оценить степень вероятности наличия на склоне древних оползней, происшедших при иных (погребенных) базисах эрозии. При малейшей степени вероятности наличия древних оползней инженерно-геологические исследования на таком склоне необходимо выполнять, как на оползневом. При этом обязательно должен быть выявлен базис древнего оползня. Примером этого является пологий, без всяких признаков подвижек склон долины ручья, впадающего в р. Кан, на котором был

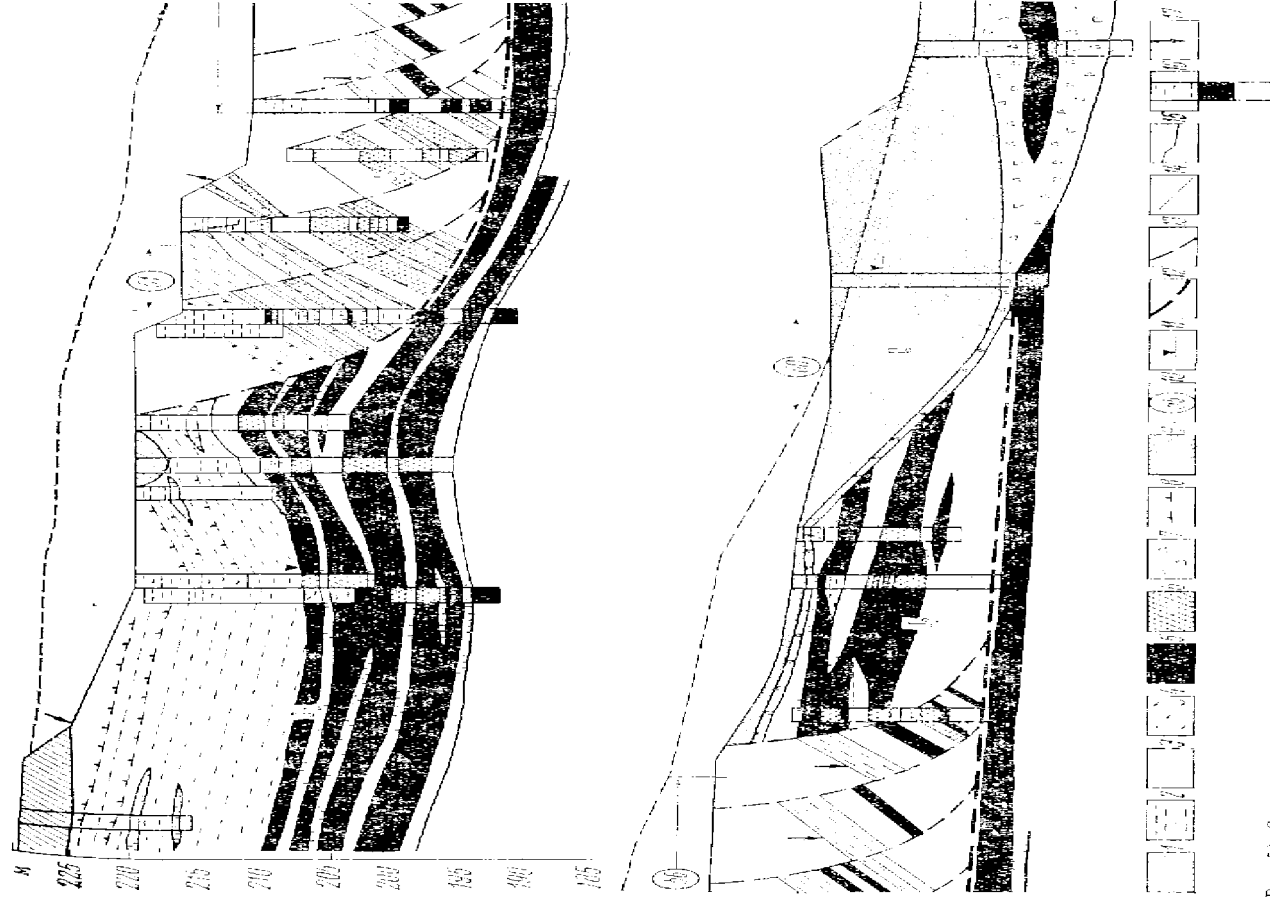


Рис. 52. Схемы древнего склавина

1 — склавина, 2 — глиняная труба, 3 — песчаная, 4 — алевролит, 5 — угли, 6 — угольные сланцы, 7 — угольные сланцы, 8 — угольные сланцы, 9 — угольные сланцы, 10 — угольные сланцы, 11 — угольные сланцы, 12 — угольные сланцы, 13 — угольные сланцы, 14 — угольные сланцы, 15 — угольные сланцы, 16 — угольные сланцы, 17 — угольные сланцы.

обнаружен оживший с началом строительных работ древний оползень (рис. 52). В результате его детального изучения потребовалось предусмотреть ряд строительных мероприятий для обеспечения устойчивости откосов выемок и насыпей, а также грунтов основания сооружений, запроектированных на этом склоне.

#### 4. ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

При инженерно-геологических исследованиях для строительства в районах вечномерзлых грунтов можно исходить из двух принципиальных положений: 1) общее выявление геокриологических особенностей мерзлых пород, определение их физико-механических свойств для обоснования выбора метода строительства сооружений; 2) выбор заранее метода строительства сооружения и применительно к нему изучение мерзлых пород. Постановка инженерно-геологических исследований по первому положению является общим случаем и может осуществляться в любой зоне вечномерзлых грунтов, независимо от степени геокриологической изученности района и опыта строительства в нем. Постановка исследований по второму положению возможна и целесообразна в достаточно изученных в мерзлотном отношении районах, с накопленным опытом строительства.

Строительство сооружений в районах вечной мерзлоты осуществляется, как известно [147], по трем методам. Метод сохранения мерзлого состояния грунтов основания на весь период эксплуатации сооружений широко применяется [148] при мощности мерзлых грунтов более 10 м, устойчивом температурном их режиме, небольшой площади сооружения в плане и невысокой его теплоотдаче.

Метод приспособления к конструкции сооружения к неравномерной осадке грунтов основания по мере их оттаивания при эксплуатации сооружения. Применение этого метода возможно и целесообразно, когда ожидается выделение большого количества тепла проектируемым сооружением, в условиях неустойчивого температурного режима мерзлых грунтов, крупнообломочном их составе и небольшом равномерно распределенном содержании льда в грунтах, т. е. в природных мерзлотных условиях, когда и состав мерзлых грунтов, и характер их льдистости обуславливают при оттаивании небольшие осадки, исключают разжижение грунтов и их выдавливание из-под сооружения.

Этот метод заслуживает особого внимания при проектировании в районах вечной мерзлоты водохранилищ, хвостов и шламохранилищ, когда под основанием плотины, дамбы трудно сохранить грунты в мерзлом состоянии, а их предварительное оттаивание дорого. Такой метод предусматривался нами в ТЭО строительства



на Удокане в долине р. Чара хвостохранилища с плотиной высотой 90 м.

Метод предварительного оттаивания грунтов основания сооружений применим в условиях, когда нельзя сохранить грунты в мерзлом состоянии, когда льдонасыщенность грунтов большая и главное весьма неравномерная в плане и по глубине, что не позволяет применять метод приспособления сооружения к осадкам грунтов при их оттаивании в силу больших и неравномерных осадок, и когда мощность толщи вечномерзлых грунтов не превышает 10 м. Этот метод, как и метод предварительного оттаивания, дает лучшие результаты при крупнообломочных грунтах, но может применяться и при глинистых грунтах в условиях естественного или искусственного их дренирования или одновременного с оттаиванием искусственного их закрепления.

Инженерно-геологические исследования в районах вечномерзлых грунтов выполняются обычными методами: инженерно-геологической съемкой, геофизической, буровой и горнопроходческой разведкой, комплексом полевых режимных наблюдений и опытных работ, лабораторных исследований свойств грунтов.

Однако вечная мерзлота как природное явление, сформировавшееся в определенных физико-географических, геологических и термодинамических условиях, обладает рядом специфических внутренних и внешних инженерно-геологических особенностей (многофазность мерзлых пород, наличие в них как обязательной составной части льда и связанного с ним пучения, термокарст, просадочность, ползучесть пород и др.), многие из которых не встречаются в других областях суши. Особенностью вечной мерзлоты является ее «подвижность» во времени и в пространстве; при изменении условий она может расширяться и сужаться по площади, увеличиваться и уменьшаться по глубине, терять сплошность в плане, исчезать полностью, возникать вновь.

Эти особенности вечной мерзлоты накладывают определенный отпечаток и на методы инженерно-геологического ее исследования. Так, при комплексной инженерно-геологической съемке (называемой применительно к исследованию вечной мерзлоты инженерно-геокриологической) особое внимание должно быть уделено выявлению генезиса мерзлых толщ пород, поскольку в зависимости от условий их формирования — после образования пород (эпигенетический тип вечной мерзлоты) или одновременно с ними (сингенетический тип) — мерзлые породы обладают различной криогенной текстурой и различными физическими свойствами. Мерзлые толщи, сформировавшиеся после образования пород, содержат мало льда и имеют массивную (слитную) текстуру; мерзлые толщи, сформировавшиеся в процессе седиментации пород, характеризуются большим содержанием льда как в виде кристаллов в порах, так и в форме отдельных жил, линз, прослоев и сетчатой (ячеистой) или слоистой криогенной текстурой [21].

При инженерно-геокриологической съемке наряду с геоморфологическими, геологическими и гидрогеологическими наблюдениями проводится специальное изучение мезо- и микрорельефа, по формам которых устанавливается наличие термокарста, солифлюкции, трещин, заполненных льдом, и различных форм пучения, образующихся в сезонномерзлых слоях на площадях таликов, в сезонноталых слоях на вечномерзлых породах и в самих вечномерзлых породах. При исследовании явлений пучения должны быть выявлены условия образования пучин: с притоком к очагу промерзания и пучения грунтовых вод из соседних непромерзающих зон грунтов (открытые системы промерзания) или без притока грунтовых вод (закрытые системы промерзания). При прочих равных условиях (литологических, влажностных и термодинамических) масштабы явлений пучения и размеры их форм при открытых системах промерзания существенно больше, чем при закрытых системах. Внутри каждой системы промерзания наибольший эффект пучения проявляется в связных грунтах. На участках (в очагах) открытых систем промерзания и пучения необходимо выявлять источники поступления (или возможного поступления) грунтовых вод к очагам пучения и определять глубину их залегания, входящую в формулы расчета величины (высоты) пучения.

Особые формы (мезоформы) пучения представляют бугры пучения, среди которых по составу пород различают торфяные бугры, торфяно-минеральные и минеральные. Высота бугров пучения составляет от нескольких метров до нескольких десятков метров (например, в Якутии, где их называют булгуны, в Канаде — пинго [90]). Места и характер расположения на местности бугров пучения могут в отдельных случаях служить индикатором наличия тектонических нарушений, по которым происходит питание процесса образования бугра подземными водами из глубоких горизонтов.

Документация и изучение при геокриологической съемке наледей также могут дать важный фактический материал для освещения гидрогеологических условий изучаемой территории, поскольку наледи нередко приурочены к выходам подземных вод.

В комплекс работ по геокриологической съемке должны быть включены геоботанические исследования, по результатам которых (по размещению растительных ассоциаций) в совокупности с данными буровых и горнопроходческих работ можно более надежно выделить на изучаемой площади участки с различной литологией почвогрунтов и различной степенью состояния и термического режима вечномерзлых пород [89]. С этой же целью проводится и съемка снегового покрова: характер распространения его в плане, мощность (высота), плотность, длительность сохранения, температура.

Геокриологическая съемка, как и в обычных условиях, сопровождается геофизической разведкой, бурением скважин, проходкой шурфов и других горных выработок, а также отбором проб

грунтов и воды на исследования. Шурфы проходятся буровзрывным способом. Скважины бурятся колонковым способом с применением в качестве промывочной жидкости солевых растворов: хлористого кальция и хлористого натрия. Температура промывочного раствора должна быть ниже (что регулируется концентрацией раствора) температуры грунтов на данной глубине забоя скважины. Для выноса с забоя разбуренной породы применяется (вместо промывочного раствора) сжатый воздух, температура которого должна быть также ниже температуры разбуриваемых пород. В летнее время сжатый воздух перед подачей его в скважину должен охлаждаться. В Канаде для охлаждения сжатого воздуха при бурении скважин применяются специальные фреоновые установки [89].

Число разведочных скважин для обоснования инженерно-геокриологической съемки принимается, как и в обычных, немерзлотных условиях, в зависимости от категории сложности снимаемой площади и масштаба съемки. Но поскольку в районах вечномерзлых пород естественных обнажений обычно мало, необходимое для составления кондиционной карты данного масштаба число искусственных выработок здесь может быть существенно большим, чем в немерзлотных условиях. Глубины скважин принимаются в зависимости от мощности толщи (слоя) вечномерзлых пород: при мощности до 30 м они вскрываются скважинами полностью, и в этом случае определяются как верхняя (под деятельным слоем), так и нижняя границы толщи вечномерзлых пород; при мощности более 30 м скважины проводятся по ним на глубину не менее 20—25 м от подошвы деятельного слоя.

Диаметр разведочных скважин следует принимать в зависимости от температуры подлежащих бурению мерзлых пород и их литологического (гранулометрического) состава: больший (151—132 мм) — для высокотемпературных крупнообломочных пород и меньший (но не менее 112—93 мм) — для низкотемпературных связных и скальных пород. Бурение должно проводиться короткими рейсами. Для облегчения извлечения керна из колонковых труб целесообразно применять двойные колонковые трубы или колонковые трубы с двумя прорезями, расположенными на противоположных сторонах боковой поверхности трубы.

Важнейшей характеристикой вечномерзлых пород является их температурный режим. Для его изучения устраивается специальная режимная сеть скважин. Скважины размещаются на всех морфологических элементах исследуемой площади, а также в акваториях водотоков и водоемов. При наличии на изучаемой территории искусственных сооружений и зданий вблизи них также бурятся «температурные» скважины. По результатам наблюдений в таких скважинах судят о влиянии сооружений на температурный режим мерзлых пород. При этом учитываются характер сооружения, его технологические особенности и режим эксплуатации. Скважины специальной сети наблюдений за температурой мерзлых

пород должны быть соответствующим образом оборудованы, в частности вечномерзлые породы в них должны быть изолированы от сезонноталых обсадными трубами; нижний башмак обсадных труб должен находиться на глубине от подошвы сезонноталого слоя, равной не менее мощности этого слоя [140]. На устье скважины должен быть устроен глиняный замок глубиной не менее 0,5 м, поверхность земли вокруг скважины следует спланировать с радиальным уклоном от скважины и уплотнить, трубу плотно закрыть пробкой и изолировать от внешней температуры.

При изысканиях температуру грунтов следует измерять по всем скважинам. По данным этих измерений возможно предварительное выделение на изучаемой площади отдельных участков с различной на одной и той же глубине или одинаковой на различной глубине температурой пород. Такие предварительные данные должны быть учтены при размещении сети специальных «температурных» скважин для длительного наблюдения.

Важным элементом общего инженерно-геологического и мерзлотного изучения площадок проектируемого размещения сооружений является обобщение опыта изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации существующих сооружений на соседних участках (районах) с аналогичными климатическими, геолого-гидрогеологическими и геокриологическими условиями.

Объем инженерно-геокриологических исследований зависит от сложности инженерно-геологических и мерзлотных условий, степени их изученности, характера проектируемых сооружений и стадии проектирования, а также от географического положения подлежащей изучению площади в пределах области распространения вечномерзлых пород. На территории СССР область вечномерзлых пород делится, как известно, по условиям их распространения (сплошное, прерывистое), мощности, среднегодовой температуре, постоянству во времени, характеру и масштабу геокриологических процессов и явлений на три зоны: северную, центральную и южную.

К северной зоне [148] может быть отнесена территория, расположенная к северу от геоизотермы минус  $5^{\circ}$  (см. СНиП II—Б.6—66), к центральной — территория между геоизотермами минус  $1^{\circ}$  — минус  $5^{\circ}$ , к южной зоне — территория, расположенная между геоизотермами  $0^{\circ}$  — минус  $1^{\circ}$ . Каждая из этих зон имеет свои особенности. Так, в северной зоне распространение вечномерзлых пород практически сплошное, за исключением отдельных сквозных таликов под крупными водотоками и водоемами. Температура пород до минус  $12^{\circ}\text{C}$ . Температурный режим устойчивый, мощность деятельного слоя не превышает 1,5 м, а на площадях, покрытых мхом и торфом, — менее 0,2—0,3 м. Породы находятся в твердомерзлом состоянии. В центральной зоне на общем фоне сплошной вечной мерзлоты встречаются участки талых пород. Мощность деятельного слоя 1,5—2,5 м, состояние пород — от твердомерзлого до пластичномерзлого. В южной зоне частые

сквозные талики в ее северной части расширяются по площади к южной границе зоны, где вечномерзлые породы по распространению в плане и на глубину приобретают островной и линзообразный характер. Мощность деятельного слоя здесь до 4,5 м, состояние пород пластичномерзлое.

При изысканиях в южной зоне для размещения сооружений целесообразно выявление площадей, сложенных полностью тальми грунтами, в центральной зоне — выявление и инженерно-геологическая оценка площадок под сооружения, сложенных как вечномерзлыми, так и тальми породами, в северной зоне такие задачи смысла не имеют, поскольку там сплошное распространение вечномерзлых пород.

Наряду с выявлением геокриологических особенностей вечномерзлых пород в полевых условиях (генезиса мерзлых толщ, литологического состава, характера распространения по площади и глубине, мощности, криогенной текстуры, льдистости, формы ледяных включений, температурного режима, мощности и состава пород сезонного и сезонномерзлого слоев, наличия и типов подземных вод, их состава и др.) определяются физические, теплофизические и механические их свойства (как для обычных талых, немерзлых пород) и дополнительно те свойства, которые присущи этим грунтам в силу их мерзлотного (многофазного) состояния. Отдельные характеристики вечномерзлых пород определяются по-иному, чем для обычных грунтов. Кроме того, иной, чем при обычных грунтах, подход к отбору проб вечномерзлых пород, условиям их консервации, упаковки, транспортирования.

Все эти вопросы достаточно полно изложены в работах [133, 147, 148]. Здесь же отметим следующее. К числу характеристик вечномерзлых пород, подлежащих дополнительному определению или иными, чем для обычных грунтов, способами, относятся: суммарная влажность слоя, горизонта, массива мерзлых пород; количество незамерзшей в мерзлой породе воды; льдистость весовая, объемная; вязкость льда, включенного в минеральную часть породы и в массив в целом; засоленность мерзлых грунтов; сопротивление мерзлых грунтов нормальному давлению; сопротивление сдвигу (угол внутреннего трения и коэффициент сцепления) мерзлого и оттаившего грунта; предельно длительное сопротивление мерзлого грунта сдвигу; коэффициент оттаивания (безразмерная величина, характеризующая осадку оттаившего слоя мерзлого грунта под собственным весом); коэффициент сжимаемости оттаившего грунта; коэффициент сжимаемости и модуль деформации мерзлого грунта; касательные силы пучения; теплоемкость — удельная (количество тепла, необходимое для изменения температуры единицы массы грунта на  $1^{\circ}\text{C}$ ), объемная (количество тепла, необходимое для изменения температуры единицы объема грунта на  $1^{\circ}\text{C}$ ); теплопроводность; температуропроводность.

Большую часть из перечисленных характеристик можно определять как в поле, так и в лаборатории. Объемную массу, например,

следует определять не только в лабораторных условиях, но и в полевых, по объему небольших шурфов и массе извлеченных из них грунтов. Объем шурфов можно строго измерить водой, наливаемой в предварительно вложенный в шурф полиэтиленовый мешок объемом, несколько большим объема шурфа (в расчете на заполнение водой всех неровностей на дне и стенках шурфа). Коэффициент оттаивания мерзлого грунта и коэффициент сжимаемости оттаившего грунта также можно определять как в лаборатории методом компрессионных испытаний, так и в поле методом штамповых испытаний с горячим штампом. Последний изготавливается из штампа-коробки с прокладкой внутри нагревательной электрической спирали мощностью 6—7 кВт или из штампа-куба с колонной из металлических труб для передачи давления на штамп и с водой внутри, непрерывно подогреваемой опущенными в нее электродами [90].

В лабораторных и полевых условиях могут быть определены касательные силы пучения, а также сжимаемость и модуль деформации мерзлых пород, сжимаемость оттаивающих пород, сопротивление мерзлых пород нормальному давлению (штампом в поле и опытом на сдвиг или на трехосное и одноосное сжатие в лаборатории) и др. Однако при этом следует учитывать трудность и высокую стоимость полевых испытаний, при которых необходимо в течение всего эксперимента поддерживать грунты в одних случаях в их природном мерзлом состоянии, в других — в талом. Поэтому полевые определения физико-механических свойств вечномерзлых пород для их оценки как основания сооружений, прогноза температурной устойчивости и выбора метода строительства должны выполняться по специальной программе (для проектирования ответственных сооружений) или целенаправленно для обоснования заранее намечаемого наиболее вероятного в данных геокриологических условиях метода возведения сооружений.

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПРОБОВАНИЕ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ И ГРУНТОВ ДЛЯ ЗЕМЛЯНЫХ НАСЫПЕЙ

### ГРУНТЫ ОСНОВАНИЯ

#### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Исследование физико-механических, водных, прочностных и деформационных свойств грунтов при изысканиях для проектирования и строительства сооружений водоснабжения и водоотведения необходимо с целью установления номенклатуры грунтов согласно СНиП II.15—74 и определения их количественных характеристик, используемых в расчетах осадок сооружений, устойчивости откосов земляных насыпей и выемок, естественных склонов, консолидации грунтов основания и др.

При опробовании грунтов основания сооружений необходимо руководствоваться следующими основными положениями. Пробы грунтов основания проектируемых сооружений должны отбираться из каждого инженерно-геологического элемента толщи пород, слагающих площадь застройки.

Под термином «инженерно-геологический элемент» следует понимать геологическое тело — толщу горных пород, отдельные слои или линзы их одного генезиса, имеющие одинаковый литологический состав и примерно одинаковые текстурные и структурные особенности, гранулометрический и минеральный состав и физическое состояние [16, 77]. В соответствии с этим понятием на участке инженерно-геологических исследований в зависимости от величины заглубления проектируемого сооружения и глубины распространения давления от этих сооружений на грунты могут быть один или несколько инженерно-геологических элементов.

Так, при расположении строительной площадки на водораздельном плато, сложенном до глубины ниже активной зоны (глубины распространения напряжений в толще грунтов от веса сооружения или движущихся механизмов и от динамических импульсов) однородными по генезису, составу и физическому состоянию делювиальными суглинками, выделяется один инженерно-геологический элемент. В тех же условиях, но при различном по глубине или в плане физическом состоянии суглинков на площадке исследований можно выделить несколько инженерно-геологических элементов. Если, например, в верхней части слоя суглинки твердые, в средней пластичные, в нижней текучие, следует выделить три инженерно-геологических элемента.

При слоистом напластовании различных по генезису или составу грунтов, а также при однородных по генезису и составу грунтов, но приуроченных к различным геоморфологическим элементам местности (что характерно для строительных площадок, размещаемых в долинах рек), на строительной площадке также может быть выделено несколько инженерно-геологических элементов.

Размеры инженерно-геологических элементов в плане и разрезе должны приниматься с учетом типа проектируемого сооружения и характера передаваемой на грунт нагрузки. Например, при работе грунтов основания только на сжатие прослои или линзы слабых грунтов мощностью до 0,5 м могут не выделяться в отдельные инженерно-геологические элементы, тогда как при работе грунта на сдвиг такие прослои или линзы могут иметь в расчете сооружения на устойчивость решающее значение и должны быть выделены в самостоятельный инженерно-геологический элемент.

Представление об инженерно-геологическом строении площади, подлежащей исследованию, инженерно-геологических элементах и их числе в пределах этой площади должно быть составлено по материалам предыдущих изысканий и отражено в программе работ. В случаях, когда по материалам предыдущих изысканий нельзя составить достаточно полного представления об объекте предстоящих исследований, необходимо выявить характер инженерно-геологического строения и число инженерно-геологических элементов предварительной (в начале изысканий) разведкой — бурением двух-трех или нескольких опорных скважин.

Число проб грунтов из каждого инженерно-геологического элемента для определения нормативных и расчетных характеристик должно быть от 6 (минимум) до 30 и более в зависимости от класса сооружения и размера инженерно-геологического элемента.

Когда проектируемые сооружения привязаны в плане и по глубине заложения фундаментов, для оценки каждого инженерно-геологического элемента в их основании можно ограничиться отбором и исследованием шести (не менее) проб грунтов.

## **2. КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ**

Грунты основания в зависимости от их вида в общем случае характеризуются рядом качественных и количественных показателей физических, физико-механических, прочностных, деформационных и водных свойств. Перечень этих показателей и методов их определения приведен в табл. 13.

Однако в практике проектирования и строительства сооружений эти показатели не всегда нужны в полном составе. Необходимость в тех или иных показателях для одного и того же по составу грунта определяется в зависимости от его физического состояния в естественных условиях, вида и класса сооружения, проектируемого на



**Физико-механические, водные, прочностные и деформационные  
характеристики грунтов и методы их определения**

№ п/п	Характеристики грун- тов	Грунты					Методы определе- ния
		скальные	полускальные	нескальные			
				крупнообло- мочные	песчаные	глинистые (связные)	
1	Гранулометрический состав	—	—	+	+	+	Визуальный, лабо- раторный
2	Петрографический состав	+	+	+	—	—	То же
3	Минералогический состав	+	+	—	+	+	Лабораторный
4	Текстура	+	+	+	+	+	Визуальный
5	Криогенная текстура <sup>1</sup>	+	+	+	+	+	»
6	Структура	+	+	—	—	—	Лабораторный, визуальный
7	Естественная влаж- ность	—	+	+	+	+	Лабораторный
8	Суммарная влаж- ность <sup>1</sup>	+	+	+	+	+	»
9	Суммарная льди- стость <sup>1</sup>	+	+	+	+	+	»
10	Степень водонасы- щенности	—	+	+	+	+	Расчетный
11	Степень заполнения пор льдом и водой <sup>1</sup>	+	+	+	+	+	»
12	Степень однородно- сти (коэффициент неоднородности)	+	+	+	+	+	Расчетный визу- альный
13	Плотность	+	+	+	+	+	Лабораторный
14	Объемная масса грунта	+	+	+	+	+	»
15	Объемная масса ске- лета грунта	—	—	+	+	+	Расчетный
16	Пористость	—	—	+	+	+	Лабораторный, расчетный
17	Коэффициент пори- стости	—	—	+	+	+	Расчетный
18	Трещиноватость а) модуль трещино- ватости	+	+	—	—	—	Полевой Расчетный

№ п/п	Характеристики грун- тов	Грунты					Методы определе- ния
		скальные	полускаль- ные	нескальные			
				крупнообло- мочные	песчаные	глинистые (связные)	
19	б) коэффициент трещинной пустотности	+	+	—	—	—	»
	в) блочность	+	+	—	—	—	Полевой
	Закарстованность <sup>2</sup>	+	+	—	—	+	»
	а) коэффициенты закарстованности (линейный, объемный) <sup>2</sup>	+	+	—	—	—	Расчетный
	б) число карстовых провалов, среднегодовое <sup>2</sup>	+	+	—	—	+	Многолетние на- блюдения
	в) периодичность провалов <sup>2</sup>	+	+	—	—	+	Многолетние на- блюдения
	г) поражаемость территории карстовыми провалами, среднегодовая <sup>2</sup>	+	+	—	—	+	То же
	20	Показатели пластичности	—	—	+	—	+
21	Консистенция	—	—	—	—	+	Расчетный
22	Полная влагоемкость	—	—	—	+	+	Лабораторный, расчетный
23	Максимальная молекулярная влагоемкость	—	—	—	+	+	Лабораторный
24	Высота капиллярного поднятия	—	—	—	+	+	»
25	Давление капиллярного натяжения	—	—	—	+	+	Расчетный
26	Скорость размывания (размывания)	—	+	—	—	+	Лабораторный
27	Степень растворимости <sup>2</sup>	+	+	—	—	—	То же
28	Засоленность	—	+	+	+	+	»
29	Химический состав грунтов	—	—	—	—	+	»
30	Состав обменных катионов	—	—	—	—	+	Лабораторный
31	Содержание растворимых остатков	—	—	+	+	+	»
32	Заторфованность	—	—	—	+	+	»
33	Коэффициент фильтрации, водопроницаемость, пьезопроводность (уровнепроводность)	+	+	+	+	+	Полевой, лабора- торный, расчет- ный

№ п/п	Характеристики грун- тов	Грунты					Методы определе- ния
		скальные	полускальные	нескальные			
				крупнообло- мочные	песчаные	глинистые (связные)	
34	Коэффициент водо- отдачи	+	+	+	+	+	То же
35	Фильтрационная (суффозионная) устойчивость <sup>3</sup>	+	+	+	+	+	Полевой, расчет- ный
36	Коэффициент недо- статка насыщения	+	+	+	+	+	Расчетный, поле- вой
37	Прочность (времен- ное сопротивление одноосному сжа- тию) <sup>1</sup>	+	+	+	+	+	Лабораторный
38	Коэффициент размяг- чения	+	+	—	—	—	»
39	Коэффициент выве- трелости	+	+	—	—	—	Лабораторный
40	Коэффициент крепо- сти (по Протодья- конову)	+	+	—	—	—	»
41	Показатели сопроти- вления сдвигу а) коэффициент сдвига, угол вну- треннего трения	+	+	+	+	+	Лабораторный, по- левой, по СНиП на основе кос- венных показате- лей
	б) коэффициент сцепления	—	+	+	+	+	То же
	в) угол откоса (су- хой, мокрый)	—	—	+	+	—	Лабораторный, полевой
42	Показатели деформа- ции а) коэффициент сжимаемости (упругости) в за- висимости от да- вления	—	+	+	+	+	То же
	б) сжимаемость (уплотнение) во времени при по- стоянном давле- нии	—	+	+	+	+	»
	в) коэффициент фильтрации при данном давлении (плотности)	—	—	+	+	+	Лабораторный

№ п/п	Характеристики грун- тов	Грунты					Методы определе- ния
		скальные	полускальные	нескальные			
				крупнооб- мочные	песчаные	глинистые (связные)	
	г) модуль дефор- мации	+	+	+	+	+	Лабораторный, полевой, по СНиП на основе косвенных по- казателей
	д) поровое давле- ние воды	—	—	—	—	+	Лабораторный
	е) модуль упру- гости (модуль Юн- га)	+	+	+	+	+	Лабораторный (или по литературным данным)
	ж) коэффициент упругого сжа- тия	+	+	+	+	+	Лабораторный
	з) коэффициент Пуассона	+	+	+	+	+	»
	и) коэффициент бо- кового давления (отпора)	+	+	+	+	+	Лабораторный (или по литературным данным)
	к) просадочность	—	—	—	+	+	Лабораторный, полевой
	л) начальное да- вление проса- дочности <sup>4</sup>	—	—	—	—	+	То же
	м) набухание, да- вление и влаж- ность набуха- ния <sup>5</sup>	—	+	—	—	+	Лабораторный, полевой
	н) усадка при вы- сыхании	—	—	—	—	+	Лабораторный
	о) лучение	—	+	—	+	+	»
43	Температура грунтов <sup>1</sup>	+	+	+	+	+	Полевой
44	Температурный ре- жим <sup>1</sup>	+	+	+	+	+	»
45	Теплоемкость <sup>1</sup>	+	+	+	+	+	Лабораторный
46	Теплопроводность <sup>1</sup>	+	+	+	+	+	Лабораторный, по- левой
47	Морозостойкость	+	+	+	—	—	Лабораторный

<sup>1</sup> Для вечномёрзлых грунтов<sup>2</sup> Для растворимых скальных и полускальных пород<sup>3</sup> Для материала заполнения трещин.<sup>4</sup> Для просадочных грунтов.<sup>5</sup> Для набухающих грунтов

этом грунте, и условий работы грунта под сооружением или в сооружении при его эксплуатации. В табл. 14 приведен перечень основных сооружений систем водоснабжения и водоотведения и номера показателей (см. табл. 13) физико-технических свойств грунтов, которые необходимо определять для проектирования и строительства этих сооружений.

Под грунтами основания понимаются обычно грунты, залегающие под фундаментом сооружений. Однако на работу большей части сооружений систем водоснабжения и водоотведения оказывает влияние вся окружающая естественная и искусственная грунтовая среда, особенности которой необходимо учитывать при расчете конструкций сооружений \*. Для этого окружающая сооружение грунтовая среда должна быть полностью исследована в инженерно-геологическом отношении. Сюда относятся: естественные грунты от поверхности земли до отметок заложения фундаментов сооружений, грунты засыпки пазух (пространств между стенками котлована и внешней боковой поверхностью сооружения), грунты обсыпки сооружений.

Определение физико-механических свойств перечисленных грунтов необходимо также для разработки проекта организации строительства: расчета величины трения бетона о грунты при строительстве сооружения опускным способом, крутизны заложения откосов строительных котлованов, траншей, выемок, обсыпок, а также влияния грунтов засыпок пазух и обсыпок сооружений на устойчивость грунтов основания.

Специальному опробованию подлежат и грунты вне сооружений, слагающие склоны долин, в которых размещаются водохранилища, хвосто- и шламохранилища, для определения переработки берегов и устойчивости склонов против оползания, а также грунты откосов выемок и котлованов.

Необходимые для проектирования физико-механические характеристики отмеченных выше грунтов в зависимости от их состояния, назначения и состава приведены в табл. 15.

### **3. О МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ**

Ряд физико-механических характеристик грунтов (см. табл. 13) может быть определен визуально или полевыми и лабораторными методами исследований либо расчетом. Ниже приведены рекомендации по выбору того или иного метода определения этих характеристик.

Для проектирования насосных станций первого подъема из поверхностных источников, тоннелей в системах водопровода и канализации, водохранилищ, хвосто- и шламохранилищ (сооружения 1а; 3б; 4а—в, см. табл. 14) на скальных и полускальных

---

\* В настоящее время влияние этой среды, как правило, приравнивается к нулю и этим вносятся в проект не всегда оправданное удорожание конструкций.

Сооружения систем водоснабжения и водоотведения и необходимые для их проектирования характеристики грунтов основания (по табл. 13)

п/п №	Сооружения	Грунты основания			
		скальные	полускальные	нескальные	
				крупнообломочные	песчаные глинистые

### А. Сооружения систем водоснабжения и водоотведения

1	Здания а) водозабор из поверхностного источника (насосные станции первого подъема)	2, 4—14, 18а—в, 19а—г, 27, 33, 37—39, 42г, е—и, 43, 44, 45, 46	2, 4—14, 18а—в, 19а—г, 26, 27, 33, 37—39, 42г, е—и, 43, 44, 45, 46	1, 2, 4—17, 20 *, 21 *, 31, 33, 41а—в, 42г, е—и, 43, 44, 45, 46	1, 3, 4—17, 28, 31, 33, 35, 41а—в, 42г, е—и, 43, 44, 45, 46	1, 3, 4—17, 20, 21, 31—33, 41а, 6, 42а—и, 43, 44, 45, 46
	б) насосные станции последующих подъемов и подготовки воды в системе водопровода, насосные станции канализации, здания воздухоподувающих установок, котельных и др.	2, 4—14, 18, 19а—г, 39, 43, 44, 45, 46	2, 4—14, 18, 19а—г, 38, 39, 43, 44, 45, 46	1, 2, 4—17, 20 *, 21 *, 28, 33	1, 3, 4—17, 28, 31, 33, 41а—в, 42г, 43, 44, 45, 46	1, 4—17, 19 **, 28, 31—33, 41а, 6, 42а, б, г—о, 43, 44, 45, 46
2	Емкостные сооружения в системах водопровода и канализации а) железобетонные — все виды отстойников, резервуаров, аэротенки, метантенки и др.	2, 4—14, 18а—в, 19а—г, 27, 33, 34, 36—39, 42г, е—з, 43, 44, 45, 46	2, 4—14, 18а—в, 19а—г, 26, 27, 33, 34, 36—39, 42г, е—з, 43, 44, 45, 46	1, 2, 5, 7—17, 20 *, 21 *, 28, 33, 34, 36, 41а—в, 42а, г—и, 43, 44, 45, 46	1, 3, 4—17, 22, 23, 24, 25, 28, 31, 33, 34, 36, 41а—в, 42г—и, 43, 44, 45, 46	1, 3, 5, 7—17, 19 **, 20—26, 28, 31—34, 36, 41а, 6, 42а—о, 43, 44, 45, 46

б) земляные, ниже поверхности земли — шламоаккумуляторы в системе водопровода, канализации промышленных стоков вод в системе канализации (бытовые сточные)	2, 4-14, 18, 19, 27, 33	3-14, 18, 26, 27, 33, 41а-б	1, 2, 4-17, 21*, 28, 31-33, 41а-в	1, 3, 4-17, 28, 31-33, 41а-в	1, 3, 4-17, 20-25, 28-33, 41а, б, 42 а, К-0
в) основание дым	2, 4-14, 18а-в, 19а-г, 27, 33, 43-46	2, 4-14, 18а-в, 19а-г, 27, 33, 43-46	1, 2, 4-17, 21*, 28, 33, 41в	1, 3, 4-17, 28, 31-33, 35, 41а-в, 42а, г, 43-46	1, 3, 4-17, 20-24, 28, 31-33, 35, 41а, б, 42а, г, К-0, 43-46
г) поверхностные части канализаций, сточных с образования	2, 4-14, 18, 19, 27, 33, 34, 36	2, 4-14, 18, 19, 26, 27, 33, 34, 36	1, 2, 4-14, 28, 33, 34, 36	1, 3-17, 28, 33, 34, 36	1, 3-17, 20-25, 28-34, 36
д) газовые племени	2, 4-14, 19, 33	2, 4-14, 19, 33	1, 2, 4-14, 28, 33, 34, 36	1, 3, 4-14, 28, 33, 34, 36	1, 3-14, 28-34, 36
е) поди фематрени	—	—	—	1, 3, 7, 10, 12-17, 22-25, 28, 30, 33, 36	1, 3, 7, 10, 12-17, 22-25, 28-30, 33, 36
ж) поди фематрени	—	—	—	1, 3, 7, 13-17, 22-25, 28-30, 33, 36	1, 3, 7, 13-17, 22-25, 28-30, 33, 36
з) Личные сооружения а) земляные трубороботы	2, 4, 5-14, 18, 19, 27, 33, 40, 43-46	2, 4, 5-14, 18, 19, 27, 33, 40, 43-46	1, 5-11, 14, 33, 41, 42а, г, 43-46	1, 3, 5-17, 33, 41, 42а, г, 43-46	1, 5-11, 13-17, 20, 21, 33, 41, 42а, г, К-0, 43-46

Группы оснований						
Сооружения	скальные	полускальные	нескальные			глинистые
			крупнообломочные	песчаные		
3 б) тоннели в системах водопровода и канализации	2-14, 18а-в, 19а-г, 33, 37-40, 42г, е, и, 43-47	2-14, 18а-в, 19а-г, 33, 37-40, 42г, е, ж-и, 43-47	1, 2, 4-17, 20*, 21*, 28, 33, 35, 41а-в, 42г, е-и, ж, о, 43-46	1, 3, 4-17, 28, 33, 35, 41а-в, 42г, е-и, ж, о, 43-46	1, 3, 4-17, 20-25, 28, 33, 40, 41а-б, 42а, г, е, ж-о, 43-46	
в) дамбы через реки	2, 4, 14, 18, 19, 37, 40	2, 4, 14, 18, 19, 37, 40	1, 2, 4, 41а, в, 42г, е-и	1, 3, 4, 41а-в, 42г, е-и	1, 3, 4, 13-17, 20, 21, 41а-в, 42а, г, е-и	
г) эстакады, акведуки	2, 4-14, 18а-в, 19а-г, 33, 37-39, 42г-и, 43-45	2, 4-14, 18а-в, 19а-г, 33-37-39, 43-46	1, 2, 4-17, 20*, 21*, 28, 31-33, 41а-в, 42г-и, 43-46	1, 3, 4-17, 31-33, 41а-в, 42г-и, 43-46	1, 3, 4-17, 20, 21, 28, 31, 32, 41а-в, 42а, г, к-о	
с) автодороги вдоль коммуникаций магистральных трубопроводов и подводящие пути к сооружениям	2, 4-14, 18а-в, 19а-г, 27, 37-39, 43-46	2, 4-14, 18а-в, 19а-г, 27, 37-39, 43-46	1, 2, 4-14, 20*, 21*, 28, 33, 41а***, 42г***, 43-46	1, 3, 4-17, 28, 31-33, 41а***-в, 42г***, 43-46	1, 3, 4-17, 20-24, 28, 31, 32, 41а***-в, 42а***, г, л-о	

Б. Гидротехнические сооружения в системах водоснабжения  
и водопотребления

4 Водохранилища, водос- и шлюзовалина



а) почвы (грунты осевшие)	2-14, 18a-в, 19a-г, 27, 33, 35-39, 40, 41, 42, е и 43-46	2-14, 18a-в, 19a-г, 27, 33, 35-39, 40, 41, 42, е и 43-46	1-17, 20*, 21*, 28, 31-36, 41a-в, 42a, г, e-и, 43-46	1, 3-17, 28, 31-36, 41a-в, 42a, г, e-и, 43-46	1, 3-17, 20-26, 28, 31-36, 41a, б, 42a-г, 43-46
б) водобросы, посу- суды	2, 4-14, 18a-и, 19a-г, 27, 33, 35-39, 40, 41, 42, в-и, 43-47	2-14, 18a-и, 19a-г, 27, 33, 35-39, 40, 41, 42a-и, 43-47	1, 2, 4-17, 20*, 21*, 28, 31-36, 41a-и, 42a, г-и, 43-46	1, 3-17, 28, 31-36, 41a-в, 42a, г-и, 43-46	1, 3-17, 20-26, 28, 31-36, 41a, б, 42a-г, 43-46
в) чаше, водохранилища, хвосты и выходы глины	2, 4-14, 18a-и, 19a-г, 27, 33, 36-39, 43-46	2, 4-14, 18a-и, 19a-г, 26, 27, 28, 33, 36-39, 43-46	1, 2-17, 20*, 22, 28, 31-36, 41a-и, 43-46	1, 3-17, 28, 31-36, 41a-и, 43-46	1, 3-17, 20-22, 26, 28, 31-36, 41a, б, 43-46
г) пашни, прилегаю- щие к водохранили- щам, хвосты и вы- ходы, водохранилища возмещенные, оне построены и рас- кавы сток	27, 33, 34, 36	27, 33, 34, 36	28-30, 33, 34, 36	28-30, 33, 34, 36	28-30, 33, 31, 36

\* Для глинистых водобросов

\*\* Гидравлический

\*\*\* Для расчета грунтов из прочности

Характеристики грунтов, образующих или составляющих сооружения, необходимые для проектирования (см. табл. 13)

Структура грунтов, их местонахождение или назначение	Грунты				
	свалочные	попутно-выемные	песчаные		
			зрелобомбовые (вазелины, галечники)	песчаные	глинистые
Нарушенная в основаниях стреловидных котлованов, вышек, склонах водо-, воздухо- и газохранилищ	2, 4-14, 18, 19, 42а, и	2, 4-14, 18, 19, 42а, и	1, 2, 4-17, 20 <sup>*</sup> , 21 <sup>1</sup> , 41а, в	1, 3, 4-17, 41а, в	1, 4-17, 20, 21, 41а, б, 42а-д, о
Нарушенная структура для засыпки лун в котлованах сооружений	Щебенчатые, 1, 2, 14, 41	Древесчатые, 1, 2, 14, 41	1, 14, 41	1, 14, 41	1, 7, 14, 20, 41
Нарушенная структура для обсыпки сооружений	Щебенчатые, 1, 2, 14, 41	Древесчатые, 1, 2, 14, 41	1, 14, 41	1, 14, 41	1, 7, 14, 20, 41

\* Для глинистого вазелина.

породах петрографический состав пород и их структуру следует определять лабораторным методом, для проектирования всех остальных сооружений на скальных, полускальных и крупнообломочных породах — визуально.

Коэффициент неоднородности (однородности) скальных, полускальных и глинистых пород можно определить визуально, грубообломочных и песчаных — расчетом по экспериментальным данным. Коэффициент фильтрации всех видов пород и грунтов основания любых сооружений следует определять полевыми методами, грунтов для насыпей — лабораторными методами при заданной их плотности.

Коэффициенты фильтрации, водопроницаемости, пьезопроводности (уровнепроницаемости), водоотдачи и недостатка водонасыщения при изысканиях для проектирования водозаборов подземных вод, крупных водопонижительных установок и дренажа, защитных сооружений от подтопления, а также для расчета фильтрационных потерь стоков из земляных хранилищ и прогноза уровня режима подземных вод на площадках сооружений водопровода и канализации, полей фильтрации и орошения следует определять полевыми методами.

Для проектирования тоннелей (сооружения 3б, см. табл. 14) коэффициент крепости пород определяется экспериментально; для всех других сооружений значение этого коэффициента можно принимать на основе визуального описания пород по шкале Протодьяконова.

Показатели сопротивления грунтов сдвигу для проектирования сооружений 1а, б; 2а; 3б; 4а—в (см. табл. 14) на крупнообломочных, песчаных и глинистых грунтах следует определять лабораторным или полевым методом. Эти показатели для всех других, приведенных в табл. 14, сооружений, располагаемых на крупнообломочных породах с величиной консистенции глинистого заполнителя не более 0,5, на песках гравелистых, крупных, средней крупности, мелких и пылеватых при содержании в последних частиц размеров 0,1 мм и крупнее не менее 50%, а также на супесях с консистенцией не более 0,75, суглинках и глинах с консистенцией не более 0,5, могут быть приняты по СНиП II—15—74. Сопротивление сдвигу слабых грунтов необходимо определять полевым методом в совокупности с лабораторным. Для проекта сооружений 4а, б (см. табл. 14) 1-го класса на скальных и полускальных породах сопротивление пород сдвигу следует определять полевыми методами.

Показатели деформационных свойств грунтов оснований сооружений можно определять как лабораторным, так и полевым методом. Для слабых грунтов основными методами определения этих показателей должны быть полевые (нагрузки на штамп, статическое зондирование) в совокупности с лабораторным. Степень набухаемости грунтов для проектирования всех видов сооружений более предпочтительно определять полевым методом.

При лабораторных исследованиях физико-механических свойств грунтов, особенно прочностных и деформационных характеристик, следует иметь в виду, что надежность получаемых количественных показателей находится в прямой зависимости от метода подготовки грунта к испытанию и схемы испытания. Важнейшим условием надежности в этом смысле является соблюдение так называемого принципа подобия, согласно которому грунт должен исследоваться в таком состоянии, в каком он будет находиться в период строительства и эксплуатации сооружений. В одних случаях естественные грунты останутся при строительстве и эксплуатации сооружений без изменения (редко), в других (почти всегда) — их физическое состояние будет иным и, может быть, разным в периоды строительства и эксплуатации. Поэтому схема определения сопротивления грунтов сдвигу и их компрессионных свойств должна подбираться применительно к естественному физическому состоянию грунтов и к их наиболее «слабому» прогнозируемому физическому состоянию, какое они могут иметь в период строительства и эксплуатации сооружения. Количественной характеристикой прочностных и деформационных свойств грунтов при этом наиболее «слабом» их состоянии определяются расчетные нагрузки сооружений на устойчивость.

Отсюда следует, что для определения, например, сопротивления грунтов сдвигу нельзя во всех случаях пользоваться стандартной методикой (ГОСТ 12248—66), согласно которой сдвиг образца грунта производится после предварительного его уплотнения до полной консолидации под нагрузками, действующими при сдвиге. Так, сопротивление грунтов сдвигу, призванных работать в откосах дорожных и других выемок, строительных котлованов и эксплуатационных каналов, следует определять при естественной плотности — влажности грунтов, разной по глубине заложения «сухого» откоса, обусловленной сложившейся в данном районе на данном участке природной обстановкой и характеризующейся бытовым давлением на грунты и их естественной влажностью в год и период года максимальной обводненности. Получаемые при этом показатели сопротивления сдвигу грунтов «сухих» откосов могут быть в равной мере использованы для расчета устойчивости откосов как при строительстве, так и при эксплуатации. Для той же части откосов (например, каналов), которая при эксплуатации будет находиться в зоне живого сечения водного потока и в капиллярной зоне, показатели сопротивления грунтов сдвигу для расчета устойчивости откосов при эксплуатации должны определяться при полном водонасыщении грунтов, соответствующем естественной плотности.

И далее, прочность грунтов зоны аэрации, например, в основании водохранилищной насыпной плотины в общем случае должна исследоваться по-разному: на период возведения плотины, когда прочность грунтов будет определяться их естественным физическим состоянием и некоторым повышением плотности по мере увеличе-

пия на них нагрузки от веса возводимой земляной плотины, и на период заполнения водохранилища, когда прочность грунтов, оставаясь практически прежней, может быть ослаблена вследствие того, что грунты окажутся под водой. Те же грунты основания плотины при ее возведении намывным способом должны исследоваться на прочность и деформируемость с учетом их обводнения и на период строительства.

Таким образом, речь идет о необходимости при исследовании прочности и деформируемости грунтов основания сооружений моделировать их физическое состояние не только по плотности—влажности, но и соответственно тому, какое они имеют в натуре и будут иметь при строительстве и эксплуатации сооружений. Следовательно, задача состоит прежде всего в прогнозировании физического состояния грунтов основания сооружений на расчетный случай и определении соответствующей этому состоянию прочности, выражающейся сопротивлением сдвигу.

Особое значение приобретает прогноз физического состояния связных слабых грунтов, находящихся в основании сооружения. Прогноз в отдельных случаях может быть сделан визуально, если известны физическое состояние грунтов в естественном состоянии и условия, в каких они окажутся при строительстве и эксплуатации сооружения, а также путем решения задачи об уплотнении этих грунтов во времени от веса сооружения.

Для решения такой задачи наряду с данными о геолого-литологических и гидрогеологических условиях основания сооружения, водных и физических свойствах отдельных слоев грунтов, слагающих основание, необходимо иметь показатели величин и характера их деформации (уплотнения при компрессии) в зависимости от вертикального давления  $\Delta h = f(P)$  и от времени при постоянном вертикальном давлении  $\Delta h = f(t)$  при  $P = \text{const}$ . Необходимо также знать тип, размеры, конструкцию сооружения и продолжительность его возведения для учета темпа передачи нагрузки при строительстве и полной нагрузки на группы от сооружения. Данные о грунтах и проектируемом на них сооружении могут быть получены в результате инженерно-геологических изысканий и проектирования (для ТЭО — по предварительным материалам изысканий и проектным проработкам, для технического, техно-рабочего проекта — по материалам изысканий и проектирования на этих стадиях), а сведения о продолжительности возведения сооружения — по календарному графику строительства (при отсутствии такого графика — из практики строительства данного вида сооружений). По этим данным, пользуясь известной [86] зависимостью

$$T = t \left( \frac{H_1}{h} \right)^n, \quad (132)$$

где  $T$  — время полной консолидации слоя грунтов основания в натуре под нагрузкой от сооружения;

$H$  — мощность этого слоя;

$t$  — время полного уплотнения образца грунта в компрессионном приборе под той же удельной нагрузкой;

$h$  — высота образца, согласно которой длительность обжатия глинистого слоя возрастает пропорционально квадрату отношения мощностей сопоставляемых слоев одного и того же грунта, можно определить физическое состояние грунтов по их плотности — влажности в основании сооружения на заданный расчетный случай и, что особенно важно, выявить для периода от начала строительства до ввода его в эксплуатацию и для первых лет эксплуатации наиболее опасный в смысле устойчивости сооружения момент, т. е. собственно расчетный случай.

Зная состояние грунтов на расчетный случай, можно задаться им при исследовании сопротивления грунтов сдвигу в лабораторных условиях и получить необходимые характеристики для расчета сооружения на устойчивость или, выявив зависимость сопротивления грунтов сдвигу  $\tau_i$  от их плотности — влажности и построив график  $\tau_i = f(w_i)$  при  $P = \text{const}$  (где  $\tau_i$  — сдвигающее усилие,  $w_i$  — влажность), можно непосредственно по графику определять показатели сопротивления грунтов сдвигу, соответствующие их физическому состоянию в основании сооружения на расчетный случай.

Покажем это на примере наших исследований грунтов основания плотины Карабашского водохранилища. В основании земляной плотины в пределах поймы реки в верхней части разреза залегают два слоя связных грунтов. Верхний слой средней мощностью около 1,5 м представлен тяжелыми черными и темно-бурыми гумусированными суглинками, с мелкими пустотами от корней растений, поверхность которых ожелезнена. В верхней части слоя суглинки слабовлажные, плотные и весьма плотные, тугопластичные, в нижней, главным образом в подошве слоя, — более влажные, пластичные. Суглинки в верхней части слоя при высыхании приобретают комковато-призматическую и ореховатую структуру. Весь слой суглинков вовлечен в процесс почвообразования, в связи с чем цвет его постепенно изменяется от черного в кровле до темно-бурого в подошве.

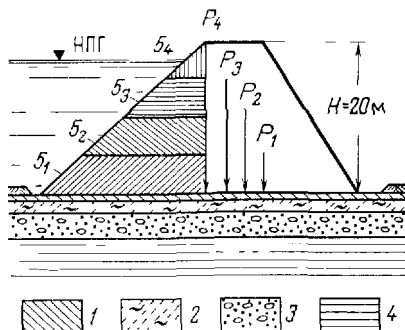
#### Физико-механические и водные свойства

Слой грунтов	Гранулометрический состав				Естественная влажность, %
	песок 0,5—0,05 мм	пыль 0,05—0,005 мм	глина		
			0,005—0,001 мм	< 0,001 мм	
Верхний	7,46	39,75	33,08	19,76	27,09
Нижний	11,55	41,52	32,12	14,81	82,25

Нижний слой средней мощностью около 2 м, подстилаемый гравийно-галечниковыми образованиями, представлен суглинками тяжелыми, темно-серыми и черными, истыми, сильногумусированными мягкопластичными, местами расслоенными тонкими (1—3 см) прослойками тонкозернистого истого песка. Суглинки содержат до 5—10% неразложившегося гумуса — мелких корешков растений или обломков стеблей камыша; местами в подошве этого слоя встречаются полусгнившие обломки стволов деревьев диаметром до 15 см. Этот слой в генетическом отношении является старичным аллювием. Физико-механические и водные свойства грунтов этих слоев приведены в табл. 16.

Рис. 53. Расчетная схема оценки степени уплотнения нижнего слоя грунтов основания Карабашской плотины в период строительства.

1 — верхний слой — суглинки тяжелые, гумусированные, 2 — нижний слой — суглинки тяжелые, истые, слабые; 3 — гравийно-галечниковые образования; 4 — коренные глины;  $5_1$ — $5_4$  — слои грунтов, отсыпаемых в тело плотины, давление от веса которых на грунты основания равно соответственно  $P_1$ — $P_4$



При проектировании данной плотины расчет на ее устойчивость намечалось провести на момент окончания строительства и начало затопления водохранилища. Для решения задачи по прогнозу физического состояния грунтов основания плотины на указанные расчетные случаи в качестве исходных были приняты следующие данные: высота плотины 20 м; объемная масса грунтов в теле плотины  $2 \text{ т/м}^3$ ; время возведения плотины по графику строительства 7 мес (с мая по ноябрь); начало заполнения водохранилища — апрель.

По этим данным и по условию, что строительство будет идти ритмично, т. е. в течение каждого месяца в тело плотины будут отсыпаться примерно равные объемы грунтов, построена расчетная схема (рис. 53). На схеме объем тела плотины разделен по высоте

Таблица 16

грунтов основания Карабашской плотины

Плотность, г/см <sup>3</sup>	Объемная масса, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	Коэффициент пористости	Степень влажности	Число пластичности
2,71	1,76	48,90	0,9569	0,7671	30,35
2,59	1,59	68,22	2,1466	0,9924	27,17

на такие части, вес каждой из которых передает на грунты основания вертикальное давление в  $10^5$  Па. Это давление, обозначенное на схеме  $P_1, P_2, P_3, P_4$ , в период возведения плотины будет изменяться от  $10^5$  до  $4 \cdot 10^5$  Па (по мере наращивания тела плотины), а в период от момента окончания строительства до начала затопления водохранилища будет постоянным —  $4 \cdot 10^5$  Па.

Время  $T_0$ , в течение которого в тело плотины отсыпается объем грунта, способный передать своим весом на грунты основания вертикальное давление  $P_n$ , определилось по сроку строительства следующим образом: для  $P_n$ , равного (1, 2, 3, 4)  $10^5$  Па, соответственно 3, 2, 1, 1 мес (табл. 17). Время  $T_1$ , в течение которого в период строительства на грунты основания воздействует полная нагрузка  $P$ , равная (1, 2, 3, 4)  $10^5$  Па, определилось соответственно 4, 2, 1, 0 мес. Время  $T_2$ , в течение которого те же нагрузки на грунты основания действуют в период от начала строительства до начала заполнения водохранилища, составляет для  $P$ , равного (1, 2, 3, 4)  $10^5$  Па, соответственно 8, 6, 5, 4 мес.

Т а б л и ц а 17

Фактическое и эквивалентное время по формулам (132), (133)

$P_n, 10^5 \text{ Па}$	$T_0, \text{ мес}$	$T_1, \text{ мес}$	$T_2, \text{ мес}$	$t_1, \text{ мин}$	$t_2, \text{ мин}$
1	3	4	8	17,28	34,5
2	2	2	6	8,69	25,9
3	1	1	5	4,34	21,6
4	1	0	4	0	17,28

Далее из формулы (132) найдем эквивалентное время  $t_1$  (относящееся к периоду от начала до окончания строительства) и  $t_2$  (от начала строительства до заполнения водохранилища), в течение которого от нагрузки  $P_n$  будет достигнут эффект уплотнения образца грунта в компрессионном приборе, равный эффекту уплотнения под той же нагрузкой слоя грунта в натуре за время  $T_1$  и  $T_2$ :

$$t_1 = \frac{T_1 h^2}{H^2}; \quad t_2 = \frac{T_2 h^2}{H^2}, \quad (133)$$

где  $h$  — толщина образца грунта в компрессионном приборе — 2 см;

$H$  — мощность нижнего слоя грунтов в основании плотины — 2 м.

Подсчитанные по формулам (133) значения  $t_1$  и  $t_2$  при  $P_{1-4}$  для грунтов нижнего слоя приведены в табл. 17.

Эффект уплотнения грунта может быть выражен уменьшением его пористости и влажности — показателей, характеризующих физическое состояние грунта. Найдем эти показатели для нижнего слоя на момент окончания строительства плотины и на начало



заполнения водохранилища. Для этого используем результаты лабораторного исследования зависимости деформации грунтов от времени при постоянной нагрузке  $\Delta H = f(t)$ ,  $P = \text{const}$  и сведем данные расчета в табл. 18.

Т а б л и ц а 18

**Определение деформации и характера изменения плотности —  
влажности нижнего слоя грунтов основания плотины  
во времени под воздействием ее веса**

Вертикальное да- вление $P_n$ , $10^5$ Па	Высота образца грунта в опыте $H$ , мм	Полная деформа- ция $\Delta H$ от $P_n$ в опыте, мм	Время $t_1$ и $t_2$ воздей- ствия $P_n$ , эквива- лентное $T_1$ и $T_2$ , мин	Деформация $\Delta h$ образца грунта от $P_n$ за $t_1$ и $t_2$ в нарастающем итоге, мм	Коэффициент пористости грунтов $e_n$ по их состоя- нию на ко- нец времени $t_1$ и $t_2$ при $P_n$	Влаж- ность грунтов весовая, % $w = \frac{e_n}{\Delta} 100$
--	--	---	--	--	--	--

**За время от начала до окончания  
строительства ( $t_1$ )**

1	20	1,122	17,28	<b>0,666*</b>	2,0419	78,80
2	20	2,416	8,5	$1,685^* - 1,122 = 0,563$ $0,563 + 0,666 = 1,229$	1,9532	75,80
3	20	3,572	4,34	$2,631^* - 2,416 = 0,225$ $0,225 + 1,229 = 1,454$	1,9179	74,05
4	20	4,058	0	0	—	—

**За время от начала строительства  
до заполнения водохранилища ( $t_2$ )**

1	20	1,122	34,5	<b>0,748 *</b>	1,9604	75,69
2	20	2,416	25,9	$1,920^* - 1,122 = 0,798$ $0,798 + 0,748 = 1,546$	1,9034	73,49
3	20	3,572	21,6	$2,889^* - 2,416 = 0,473$ $0,473 - 1,546 = 2,019$	1,8290	70,61
4	20	4,058	17,28	$3,677^* - 3,572 = 0,105$ $0,105 + 2,019 = 2,124$	1,8124	69,97

**П р и м е ч а н и е** Значения полной деформации  $\Delta H$  от  $P_n$  (цифры в графе 3) снимаются с опытной кривой  $\Delta H = f(t)$  при  $P = \text{const}$ . С этой же кривой снимаются и значения  $\Delta h$ , соответствующие  $t_1$  и  $t_2$  при  $P_n$  (цифры со звездочкой в графе 5). Разность между  $\Delta h$  и  $\Delta H$  выражает  $\Delta h'$  за  $t_1$  и  $t_2$  от  $P_{n-1}$ , а жирные цифры в графе 5 представляют собой деформацию образца грунта  $\Delta h$  за  $t_1$  и  $t_2$  от  $P_{n+1}$ .

Из табл. 16, 18 видно, что грунты нижнего слоя основания плотины ко времени окончания ее строительства станут более плотными, менее влажными и соответственно более прочными. Коэффициент их пористости снизится с 2,1466 до 1,9179, а влажность с 82,25 до 74,05%. Еще больший эффект упрочнения этих грунтов будет за время от начала строительства плотины до момента заполнения водохранилища. К этому времени коэффициент пористости грунтов снизится до 1,8124, а влажность до 69,97%.

Эти данные характеризуют физическое состояние грунтов нижнего слоя в основании плотины на принятые расчетные случаи. Располагая ими, можно задать их в лабораторных условиях предварительным уплотнением грунта перед сдвигом и определить расчетные значения величин сопротивления грунтов сдвигу. Можно поступить и иначе: предварительно выявить для исследуемых грунтов зависимость сдвигающего усилия  $\tau$  от их плотности — влажности  $w$  при различных давлениях  $P_n$ ,  $\tau_{P_n} = f(w_{P_n})$  и по графикам такой зависимости определить значения величин сопротивления грунтов сдвигу на любые расчетные случаи.

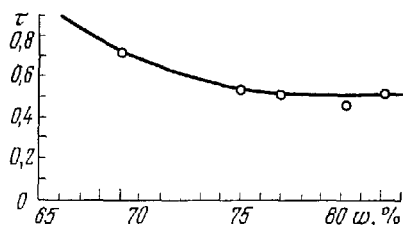


Рис. 54 График  $\tau = f(w)$  при  $P = 10^5$  Па, для пробы из грунта нижнего слоя

На рис. 54 приведен график зависимости сдвигающего усилия от влажности грунтов нижнего слоя при вертикальном давлении, равном  $10^5$  Па. На графике видно, что для этих грунтов к моменту полного возведения плотины, когда их влажность окажется равной 74,05%, сдвигающее усилие  $\tau$ , или коэффициент сдвига  $\operatorname{tg} \psi$ , поскольку при  $P = 1 \cdot 10^5$  Па  $\tau = \operatorname{tg} \psi$ , составит величину 0,55, а к моменту заполнения водохранилища, когда влажность грунтов будет 69,97%, — 0,67. На графике также видно, что определение сопротивления грунтов этого слоя сдвигу при естественном их состоянии ( $w_e = 82,25\%$ ,  $\epsilon_0 = 2,1466$ ) может дать заниженные результаты (на 9—25%) по сравнению с их сопротивлением на моменты окончания строительства плотины и начало заполнения водохранилища, а определение их сопротивления сдвигу в состоянии полной консолидации, когда плотность — влажность будет существенно ниже, чем на моменты  $t_1$  и  $t_2$ , даст завышенные значения сдвигающих усилий.

Совместное рассмотрение табл. 18 и рис. 54 показывает также, что к моментам передачи на грунты основания напряжений в  $10^5$  и  $2 \cdot 10^5$  Па от веса возводимой плотины прочность грунтов рассматриваемого слоя остается практически на уровне исходной (см. на рис. 54 значение  $\tau$  при  $w$ , равной 78,80 и 75,80%). Из этого следует, что в качестве первого расчетного случая следует принимать по нижнему слою грунтов не момент окончания строительства плотины, а отдельные моменты времени в период ее возведения, в противном случае не исключена возможность аварий во время строительства.

Аналогичным образом можно прогнозировать физическое состояние грунтов верхнего слоя, находящихся в зоне аэрации.

Практический интерес в этом случае представляет прогноз на момент заполнения водохранилища, поскольку может оказаться, что хотя к этому времени плотность грунтов верхнего слоя и повысится, они все еще будут в состоянии принять дополнительное количество влаги при заполнении водохранилища и по сравнению с естественным состоянием будут не прочнее, а слабее. Таким образом, вторым расчетным случаем на устойчивость плотины, но уже по верхнему слою могут оказаться момент заполнения водохранилища и первые годы его эксплуатации.

Прогноз физического состояния грунтов основания сооружений во времени позволяет правильно выбрать при проектировании расчетные случаи на устойчивость сооружения и определить соответствующие им показатели прочности грунтов. При этом в каждом конкретном случае, исходя из вида грунта, его физического состояния в естественных условиях и прогнозируемого на период строительства и эксплуатации сооружения, должны быть выбраны соответствующий метод подготовки грунта к испытанию и схема испытаний. В работах Гидропроекта [66, 129] даны рекомендации, касающиеся этих вопросов (табл. 19).

Наряду с показателями сопротивления грунтов сдвигу важными и широко используемыми в проектировании являются показатели, характеризующие деформируемость грунтов под нагрузкой: сжимаемость, набухание, упругие и остаточные деформации, скорости и величины уплотнения грунтов во времени. Перечисленные характеристики могут быть получены как в лабораторных условиях — испытанием грунтов в компрессионных приборах, так и в полевых — методом штамповых испытаний. Методика последних достаточно подробно разработана во многих работах, в частности в [68].

Здесь отметим лишь следующее. Определение показателей сопротивления грунтов сжатию необходимо выполнять, как и показатели сопротивления грунтов сдвигу, в условиях, максимально приближенных к условиям работы грунта в основании сооружения или в самом сооружении. Грунты основания должны исследоваться по образцам ненарушенной структуры. Сжимаемость водонасыщенных в природных условиях грунтов основания должна определяться в компрессионном приборе под водой. Если грунты в природных условиях не насыщены водой, но могут оказаться при строительстве и эксплуатации сооружения водонасыщенными, они должны быть испытаны на сжимаемость под нагрузкой также под водой. Учитывая, что сооружения водопровода и канализации нередко располагают в обводненных и водонесных грунтах и что они, как правило, сами обводняют грунты основания, независимо от их естественного состояния (см. гл. IX), компрессионные испытания грунтов, на которых возводятся эти сооружения, следует проводить по образцам, погруженным под воду.

Сжимаемость неводонасыщенных в природных условиях грунтов, дополнительное (против природного) смачивание которых

**Методы подготовки и схемы лабораторных испытаний  
сопротивления грунтов сдвигу**

Физическое состояние грунта в естественных условиях и ожидаемое при работе под сооружением	Метод подготовки грунта для испытания	Схема испытания
Глинистые грунты (суглинки, глины) мягкопластичной и текучей консистенции, илы, илистые суглинки	Без специальной подготовки, в естественном состоянии	Быстрый сдвиг
Глинистые грунты с естественной влажностью выше влажности на пределе пластичности ( $\omega_p$ ), но не выше влажности, равной $\omega_p [1 + 0,25 I_p]$ , где $I_p$ — число пластичности	То же	Ускоренный сдвиг
Макропористые просадочные грунты, а также все глинистые грунты с неполным заполнением пор водой, которые при полном водонасыщении приобретают влажность, превышающую на 1—2% влажность на пределе пластичности	Предварительное насыщение водой (до полного насыщения пор)	То же
Все глинистые ненабухающие грунты, полностью водонасыщенные, и при этом их влажность не превышает влажности на пределе пластичности	Без специальной подготовки, в естественном состоянии	Замедленный сдвиг
Супеси и легкие суглинки в естественных условиях, не полностью водонасыщенные, если при полном водонасыщении их влажность приближается к влажности на пределе текучести	Полное водонасыщение пор водой	То же
Супеси, суглинки и легкие глины, полная консолидация которых под сооружением ожидается к концу строительного периода, или если эти грунты имеют в природном состоянии твердую консистенцию	Предварительное уплотнение до полной консолидации под нагрузками, действующими при сдвиге	»
Тонкодисперсные глины при влажности менее влажности на пределе пластичности	Предварительное уплотнение под нагрузкой, действующей при сдвиге	Медленный сдвиг

при строительстве и эксплуатации сооружения не ожидается, должна исследоваться при естественной влажности. При этом естественная влажность отобранных проб грунтов должна быть оценена в отношении ее представительности в разрезе года, водности последнего и режима подземных вод на площади размещения сооружений. Природное влажностное состояние грунтов в основании сооружений при эксплуатации нарушается в сторону повышения влажности и тогда, когда для этого нет, казалось бы, реальных

источников обводнения. Однако при эксплуатации сооружений под ними и под покрытиями на застроенной территории может происходить накопление влаги (миграция и конденсация под влиянием температурного фактора, уменьшение испарения), что следует учитывать при изучении прочности и деформируемости грунтов основания.

Сжимаемость песчаных грунтов должна изучаться при их относительной плотности  $D$ , близкой к плотности при рыхлом сложении ( $0 < D < 0,3$ ), сложении средней плотности ( $0,3 < D < 0,7$ ) и плотном сложении ( $0,7 < D < 1,0$ )

$$D = \frac{\varepsilon_{\max} - \varepsilon_0}{\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}}, \quad (134)$$

где  $\varepsilon_{\max}$ ,  $\varepsilon_{\min}$  — коэффициенты пористости песка соответственно в плотном и рыхлом сложении;  
 $\varepsilon_0$  — то же, в природном сложении.

#### **4. ОТБОР ПРОБ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБЪЕМЫ**

Исследование физико-механических свойств грунтов является неотъемлемой частью инженерно-геологических изысканий для строительства различных гражданских, промышленных и гидротехнических сооружений и выполняется инженером-геологом. Лабораторные исследования грунтов по готовым пробам проводятся грунтовыми лабораториями. Качество результатов исследования при прочих равных условиях зависит от правильного отбора проб грунтов, от их объема и количества для заданных исследований, соблюдения условий консервации и сохранности проб.

При инженерно-геологических и гидрогеологических изысканиях в зависимости от целевого их назначения и требований проектирования данного сооружения к грунтовой среде пробы отбираются из грунтов связных (глины, суглинки, супеси) и несвязных (супеси, пески, гравий, галька), нарушенной и ненарушенной структуры.

Отбор проб с нарушенной структурой для определения влажности, пределов пластичности, угла естественного откоса, гранулометрического состава и других показателей, не требующих сохранения естественного сложения, может проводиться с помощью любого инструмента: змеевиком, ложкой, лопатой и т. п. При этом необходимо, чтобы взятая проба была представительна, т. е. соответствовала тому слою грунтов, физико-механические свойства которых требуется исследовать в лаборатории.

Пробы, отбираемые с целью определения влажности, укладывают в стеклянные или алюминиевые бьюксы емкостью 50—100 м<sup>3</sup> с притертыми пробками или плотно прилегающими крышками; пробки или крышки заливают немедленно парафином или специально приготовленной мастикой.

Пробы связных грунтов с нарушенной структурой, отобранные для отправки в лабораторию, упаковывают в плотно сколоченные ящики или помещают в мешочки из плотного материала. Пробы несвязных грунтов упаковывают в плотно сколоченные ящики с заливкой швов гудроном, полностью исключающей потерю мелких фракций грунта, или также в мешочки из плотного материала.

Пробы грунтов ненарушенной структуры и естественной влажности (монолиты связных грунтов из шурфов, котлованов и траншей) рекомендуется отбирать следующим образом. В стенке выработки вырезается с трех сторон столбик-монолит грунта размером, несколько большим требуемого, и не строгой формы. Затем монолит подрезается снизу, извлекается из ниши, кладется на жесткую подставку, доводится до требуемых размеров и консервируется с использованием обычно парафина и марли.

Марля, пропитанная парафином, накладывается на монолит в два слоя и дополнительно покрывается слоем парафина. Монолит должен быть запарафинирован так, чтобы доступ воздуха к грунту был исключен. Парафиновая оболочка не должна отставать от тела монолита, что указывает на хорошее парафинирование. На монолите этикеткой обозначается «верх» в соответствии с положением в натуре слоя грунта, из которого взят монолит.

Сверху монолита кладется этикетка-паспорт и закрепляется парафином. Монолиты укладываются в ящики, плотно обкладываются со всех сторон древесными опилками или упаковочной стружкой и отправляются в лабораторию.

Отбор образцов ненарушенного сложения из буровых скважин производится с помощью грунтоносов в соответствии с ГОСТ 12071—66. Монолиты из скважин отбираются как из зоны аэрации, так и из зоны ниже уровня грунтовых вод. При отборе монолитов из зоны аэрации грунтоносами подлив воды в скважину во избежание дополнительного увлажнения грунта исключается. При отборе грунтоносами монолитов из зоны ниже уровня грунтовых вод водоносные горизонты перекрываются обсадными трубами. Извлеченный грунтоносом монолит, очищенный от увлажненного или нарушенного грунта, тщательно парафинируется и упаковывается, как указано выше.

Отбор несвязных грунтов (песков из шурфов, расчисток и котлованов) производится так: в намеченном месте взятия пробы (в стенке-выработке) делается ниша и на ее зачищенной нижней полке заглубляется (вдавливается) в грунт гильза нижней заостренной частью до выхода грунта выше верхних краев гильзы.

Выступающий из гильзы грунт зачищается ножом вровень с ее краями, и на выровненную поверхность его кладется заранее приготовленная соответствующего размера бумага, пропитанная парафином. Далее, придерживая гильзу сверху рукой, подрезают грунт на 4—5 см ниже нижнего края гильзы по всему диаметру ее и, поддерживая грунт в гильзе ножом снизу, переворачивают ее нижним концом вверх. Выступающий из гильзы грунт также

зачищают и, как и в первом случае, покрывают пропитанной парафином бумагой. После этого гильзу обертывают марлей и парафинируют. На гильзе этикеткой помечается «верх» в соответствии с положением образца в выработке.

Отбор несвязных грунтов (песчано-гравийных, песчано-гравийно-галечниковых образований) с содержанием того или иного количества валунов и пылевато-глинистого заполнителя производится в зоне аэрации из шурфов, канав, расчисток котлованов, скважин, в пределах обводненной части разреза — из скважин. В последнем случае пробы должны отбираться методом, исключаящим отмыв из пробы мелких фракций пород. Это может быть достигнуто применением специального пробоотборника, погружаемого в грунт забивкой.

Принцип отбора проб указанных грунтов является общим применительно к выделенным при разведке инженерно-геологическим элементам. Специфика состоит в том, что для определения влажности таких грунтов, залегающих в зоне аэрации, в бюкс отбирается заполнитель, а общие точечные пробы должны отбираться как в зоне аэрации, так и в обводненной зоне в относительно большом объеме (полностью из 0,5—1 м проходки) через определенные интервалы по мощности данного инженерно-геологического элемента (пласта). В отобранных таким образом пробах и целиком взвешенных в воздушно-сухом состоянии содержание крупных фракций (валунов, галек, крупных гравийных частиц) определяется на месте путем отбора валунов вручную, грохочения, просева пробы на грохотах и ситах с известным размером проходных отверстий и взвешивания каждой фракции, оставшейся на грохоте, сите.

Гравийно-песчано-глинистая часть пробы также взвешивается и направляется в лабораторию для исследований. Гранулометрический состав общей пробы рассчитывается по данным грохочения, рассева пробы на месте и по лабораторным исследованиям.

Ниже приведены объемы проб для лабораторных исследований грунтов основания сооружений с определением характеристик, приведенных в табл. 20.

**С в я з н ы е г р у н т ы** — монолит размером не менее  $20 \times 20 \times 20$  см; при отборе монолита из скважин его диаметр должен быть не менее 168—127 мм (без испытаний на компрессию — 127—89 мм), а высота не менее 30 см. По высоте монолит может состоять из двух-трех частей. К каждому монолиту (из шурфа, скважины) должен быть отобран грунт в бюкс на определение естественной влажности для контроля влажности грунта в монолите, доставленном в лабораторию.

**П е с ч а н ы е г р у н т ы** — проба ненарушенной структуры в трех гильзах диаметром 6—7 см и высотой 7—8 см, проба грунта в бюкс на определение естественной влажности и проба не менее 1 кг грунта нарушенной структуры.

**Стандартные характеристики физико-механических,  
водных и прочностных свойств грунтов основания сооружений**

Характеристики	Грунты основания		
	глинистые (связные)	песчаные (рыхлые)	крупнообло- мочные (рыхлые)
Гранулометрический состав	+	+	+
Естественная влажность	+	+	+
Объемная масса ненарушенной струк- туры и естественной влажности	+	+	—
Объемная масса в предельно рыхлом и предельно плотном состоянии	—	+	+
Плотность	+	+	+
Пределы пластичности	+	—	—
Максимальная молекулярная влаго- емкость	+	—	—
Полная влагоемкость	+	—	—
Размокание	+	—	—
Содержание органики	+	+	—
Содержание водорастворимых солей	+	+	—
Просадочность	+	+	—
Набухание	+	—	—
Компрессионные свойства	+	+	—
Сопротивление сдвигу	+	+	+
Коэффициент фильтрации	+	+	—
Коэффициент фильтрации под нагруз- кой	+	+	—
Капиллярное поднятие	+	+	—
Минеральный состав	+	+	—
Угол естественного откоса	—	+	—
Петрографический состав	—	—	+

К р у п н о о б л о м о ч н ы е    г р у н т ы — объем пробы, направляемой в лабораторию, зависит от уровня рассева пробы в поле: при выделении в поле всех фракций размером  $>5$  мм масса пробы (лабораторной) может быть 3—5 кг, при меньшем уровне рассева — до 10—20 кг.

**ГРУНТЫ ДЛЯ ЗЕМЛЯНЫХ НАСЫПЕЙ**

**1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Земляные насыпи (плотины, дамбы) в системах водоснабжения и водоотведения сооружаются, как отмечено в гл. III, из местных грунтов — естественных минеральных строительных материалов (глин, суглинков, песков, гравийно-галечной смеси, камня). Плотины и дамбы возводятся из материала или одного вида или нескольких видов в различном их сочетании, что определяет потребное количество того или иного вида материала. В то же время



сама конструкция плотин и дамб выбирается в зависимости от наличия видов материала и его качества. Поэтому в общем случае при проектировании земляных плотин и дамб приходится проводить поиски, разведку и опробование всех перечисленных выше материалов.

Поиски включают выявление ранее разведанных в районе проектируемого строительства месторождений строительных материалов и еще не эксплуатируемых, а также уже действующих карьеров, их местоположения, ведомственной принадлежности, качества добываемых материалов, возможности и условий получения необходимого материала в требуемом количестве, горнотехнических условий разработки неиспользуемых месторождений и условий транспорта материалов на объект проектируемого строительства. В результате такой работы может отпасть необходимость в собственно поисках и разведке одного или нескольких видов строительных материалов (таких, как камень, песок, гравий) и может оказаться реальной и оправданной в технико-экономическом отношении возможность использования существующих месторождений и карьеров. Это тем более важно, что открытие новых карьеров помимо материальных затрат на поиски, разведку и опробование месторождений потребует отвода земель под карьер и отвалы вскрышных пород, а также дополнительных затрат на последующую ликвидацию карьера и рекультивацию почв.

При возможности и целесообразности использования ранее разведанных, но не эксплуатируемых месторождений или получения необходимых материалов с действующих карьеров задачи изысканий строительных материалов упрощаются и сводятся на разведанных месторождениях к контрольной проверке (путем проходки горных выработок, отбора проб и их исследования) запасов материалов, их пригодности для проектируемого сооружения и горнотехнических условий эксплуатации месторождения, на действующих карьерах — к проверке (путем отбора проб и их исследования) качества материала.

При отсутствии возможности или при нецелесообразности использования существующих месторождений и карьеров поиски, разведку и опробование месторождений естественных строительных материалов приходится проводить в общем комплексе инженерно-геологических и гидрогеологических исследований по объекту.

Необходимое количество материалов определяется, как отмечено выше, конструкцией земляной насыпи. Для возведения водохранилищной плотины, например однородной (из суглинки) или из аллювиально-пролювиальных грунтов (суглинков с гравием, галькой и валунами), при средней в практике водоснабжения величине НПГ, равной 20—25 м (в долинах равнинных рек или в равнинной части горных долин рек), количество материала обычно составляет: суглинков или других грунтов в тело плотины — 2,5—5 млн. м<sup>3</sup>, песка и гравия для фильтров и подготовок — 50—100 тыс. м<sup>3</sup>, гравия или щебня для бетона — 100—150 тыс. м<sup>3</sup>,

камня для призм и крепления — 150—300 тыс. м<sup>3</sup>. При других конструкциях плотин (например, каменнонабросной) основным видом требуемых материалов является камень.

При поисках новых месторождений строительных материалов следует стремиться к тому, чтобы будущие карьеры по возможности размещались в зоне проектируемого затопления, т. е. в верхнем бьефе водохранилища или в нижнем (при поисках, например, песков, гравийно-галечных отложений), в пределах русла и не пригодных для сельскохозяйственной обработки и незалесенных участков долины. Это положение диктуется не только необходимостью сохранения окружающей среды, но и тем, что карьеры на месторождениях строительных материалов для возведения земляных сооружений систем водоснабжения и водоотведения являются предприятиями временными, а месторождения — разового использования.

Из многих разведанных автором месторождений строительных материалов лишь на базе четырех созданы постоянно действующие предприятия строительной промышленности. Использование всех других месторождений прекращалось с окончанием строительства объекта.

Поскольку такие месторождения используются лишь для строительства данного объекта, вопросы категоризации запасов разведываемых материалов практического значения не имеют; материалы разведки таких месторождений и оценки запасов полезного ископаемого апробированию и утверждению ГКЗ или ТКЗ не подлежат. Это повышает ответственность геолога, ведущего весь комплекс инженерно-геологических и гидрогеологических исследований на объекте, за достоверность и достаточность материалов разведки и опробования месторождений необходимых строительных материалов.

## 2. СВЯЗНЫЕ ГРУНТЫ

Связные грунты (суглинки, глины) месторождений в зоне затопления проектируемым водохранилищем по происхождению могут быть делювиальными на склонах долины или аллювиальными на надпойменных террасах. Эти месторождения характеризуются невыдержанной мощностью отложений и неоднородностью их состава в плане и по разрезу.

Объемы разведки и опробования таких месторождений рекомендуется определять по данным, приведенным в табл. 21.

Разведку месторождений связных грунтов целесообразно вести шурфами, канавами, скважинами. Выработки следует располагать по линиям, нормальным к простираанию склонов долины и террас, к которым приурочено месторождение.

Приведенные в табл. 21 объемы разведки и опробования в каждом конкретном случае в зависимости от степени изменчивости мощности и состава полезного ископаемого могут быть увеличены или уменьшены. В общем случае расстояния между разведочными

**Рекомендуемые объемы разведки и опробования месторождений  
строительных материалов аллювиального  
и делювиального происхождения**

Площадь месторожде- ния, га	Число выра- боток на 1 га площади месторожде- ния	% опробуемых выработок к общему их числу			
		всего	на полный комплекс исследова- ний	на сокра- щенный комплекс исследований	на определе- ние класси- фикацион- ных пока- зателей
1	7,00	100	100	—	—
3	5,3	100	60	40	—
5	5,0	100	50	40	10
10	4,0	100	40	40	20
15	3,6	100	35	40	25
20	3,0	100	30	40	30
30	2,8	100	30	40	30
50	2,7	100	30	30	40

линиями не должны превышать 100 м, между выработками на разведочных линиях — 50 м.

Для исследования связных грунтов в качестве материала для земляных насыпей при однородном сложении толщи полезного ископаемого отбираются точечные пробы по глубине через каждые 1,5 м при общей мощности толщи до 5 м и через 2—3 м при мощности толщи более 5 м и валовые пробы из всей толщи. Пробы отбираются нарушенной структуры; из места отбора каждой точечной пробы отбираются: проба ненарушенной структуры — небольшой монолит, не строгой формы, размером не более  $10 \times 10 \times 10$  см и пробы в буюкс для определения объемной массы при естественной структуре и естественной влажности. При слоистом сложении толщи полезного ископаемого отбираются те же пробы: точечные — из каждого слоя, небольшой монолит и грунт в буюкс, валовые — из каждого слоя и из всей толщи.

Начальные валовые (послойные и из общей толщи) пробы связных грунтов отбирают из шурфов и канав методом борозды, из скважин в пробу поступает весь материал, извлекаемый буровым наконечником. Начальную пробу помещают на плотно сколоченный (непропицаемый для пылевато-глинистых фракций) и гладко отструганный деревянный помост, тщательно перемешивают и путем квартования доводят до нужного объема.

### 3. Рыхлые грунты

Отбор проб рыхлых грунтов производится так же, как и связных грунтов. Особенности отбора здесь состоят лишь в том, что ширина борозды должна быть не менее чем в 2 раза больше размера самых крупных частиц материала. При отборе проб из

обводненной части толщи должны быть приняты меры для сохранения в пробе мелких песчаных и пылевато-глинистых фракций. Это достигается применением, как отмечено выше, специальных пробоотборников или при отборе проб желонкой — сливом воды из желонки в металлическую емкость, осаждением в ней захваченных водой фракций и переносом их в данную пробу. Из начальной пробы, подсушенной до воздушно-сухого состояния и целиком взвешенной, валуны отбирают вручную и взвешивают, а остальную часть пробы путем грохочения и отсева на ситах разделяют на фракции 100, 80, 40, 20, 10 мм. Каждую фракцию взвешивают. Оставшуюся часть пробы с содержанием фракций 10 мм и мельче полностью взвешивают; если ее общая масса не более 5 кг, она целиком может быть отправлена в лабораторию для дальнейшего исследования. При большей массе остаточной пробы она может быть сокращена путем квартования до необходимого объема (массы). При этом масса остаточной пробы, подлежащей квартованию, и число проведенных квартований должны быть записаны в журнал опробования.

Расчет гранулометрического состава материала по данным полевых и лабораторных исследований производится по отношению к массе начальной пробы. Если объем начальной пробы значительный (больше 1 м<sup>3</sup>), ее можно уменьшить путем тщательного перемешивания и одно- или двукратного квартования и затем исследовать, как описано выше. Для отправки проб в лабораторию они упаковываются в герметические ящики.

#### 4. КАМЕНЬ

Месторождение камня для создания карьера по его добыче также желательно найти в зоне будущего затопления. При разведке месторождения камня следует учитывать его генезис, условия залегания пород, характер тектонических нарушений и другие геологические и морфологические особенности.

Все эти особенности месторождения должны быть выявлены в процессе поисков; по материалам поисков составляется проект разведки и опробования месторождения, обосновывающий намечаемое число разведочных выработок, их глубину, места опробования полезного ископаемого и число проб. При этом можно придерживаться рекомендаций, приведенных в табл. 22.

Одновременно с разведкой и опробованием собственно полезного ископаемого — камня — на каждом месторождении следует оценивать возможность использования для земляной насыпи вскрышных пород, залегающих под почвой в кровле полезного ископаемого. В зависимости от состава последнего, характера, глубины и степени его выветрелости вскрышные породы могут быть представлены как продуктами нацело выветрившегося камня — супесями (на песчаниках), суглинками и глинами (на известняках и изверженных породах), так и грубообломочным мате-

**Рекомендуемые объемы разведки  
и опробования месторождений камня**

Генетический тип месторождения, условия залегания пород полезной толщи	Разведка	Опробование
<p>Изверженный интрузивный, осадочный глубоководный; горизонтальное, пологопадающее под углом до <math>5^{\circ}</math> (месторождения камня с выдержанными и по глубине и в плане составом и физическими свойствами)</p> <p>Изверженный эффузивный, осадочный неглубоководных фаций, метаморфический, моноклиналное на крыльях крупных складок или мелкие складки с углами падения от <math>5</math> до <math>30^{\circ}</math> (месторождения с непостоянной мощностью пластов, невыдержанными составом и качеством камня)</p>	<p>По сетке не реже чем <math>100 \times 100</math> м Глубина скважин на <math>1-2</math> м ниже отметок забоя намечаемого карьера. Мощность и состав вскрышных пород дополнительно изучаются по шурфам, канавам, расчисткам. В местах, где по условиям рельефа бурение скважин невозможно, проходятся шурфы с применением взрывных работ</p> <p>По линиям вкрест простирания пород Расстояние между линиями не более <math>100</math> м, между скважинами на линии — из расчета полного (без пропусков) вскрытия полезной толщи. Глубина скважин — на <math>1-2</math> м ниже отметок забоя намечаемого карьера. Шурфы, канавы, расчистки проходят при мощности вскрышных пород до <math>5</math> м</p>	<p>Не менее трех скважин на месторождение с отбором проб из каждой скважины не реже, чем через <math>2-3</math> м, начиная с отметок подошвы слоя пород, выветрившихся до состояния дресвы и отдельных обломков (с отметок поверхности «разборной скалы»). Из остальных скважин по две пробы из зон условно свежих, не затронутых выветриванием, и из затронутых выветриванием</p> <p>По материалам поисков, предварительной разведки или разведки в пределах чаши хранения устанавливается степень однородности полезной толщи и проводится граница условно свежих и затронутых выветриванием пород. При однородности толщи каждая зона условно делится по глубине на пачки мощностью <math>2-5</math> м в зависимости от намечаемой глубины карьера Из каждой пачки отбираются пробы не менее чем в шести точках по простиранию пачки. При сложном строении толщи пробы отбираются из каждого слоя через <math>2-5</math> м и в этом же количестве по простиранию слоев</p>

Генетический тип месторождения; условия залегания пород полезной толщи	Разведка	Опробование
<p>То же, с углами падения более <math>30^\circ</math></p> <p>Осадочный; пластовое, линзовидное, горизонтальное или полого падающее под углом до <math>5^\circ</math> (месторождения с закономерно изменяющейся прочностью камня)</p> <p>Аллювиальный, аллювиально-пролювиальный, скопление валунов в руслах крупных горных периодически действующих водотоков или в руслах, которые в летнюю и зимнюю межень максимально оголяются (месторождения с различным петрографическим составом и физическими свойствами камней)</p>	<p>По линиям вкрест простирания пород. Расстояние между линиями не более 100 м. Глубина скважин — на 1—2 м ниже отметок забоя намечаемого карьера, вертикальные и наклонные, с шагом на линии не более 50 м. При мощности вскрыши до 5 м дополнительно к скважинам проходят канавы вкрест простирания пород</p> <p>По сетке не реже <math>50 \times 50</math> м. Глубина скважин — на 1—2 м ниже отметок забоя намечаемого карьера</p> <p>Сбор валунов с опытных площадок, укладывание их в штабели по фракциям (визуально) и измерение объема. Размер площадок: длина — равная ширине полосы скопления валунов вдоль русла; ширина — из расчета (при указанной длине) общего размера площадки не менее <math>5000 \text{ м}^2</math>. Не менее трех площадок на 1 км по длине полосы</p>	<p>То же</p> <p>Из каждой линзы, пласта или разновидности пород в их пределах пробы отбираются по глубине через каждые 2—3 м, по площади — в контуре подсчета запасов, не менее шести—деяти проб с каждой глубины</p> <p>Не менее двух-трех проб из каждой петрографической разности пород с каждой площадки</p>

риалом — дрсвой, щебнем с тем или иным количеством песчаного и глинистого заполнителя. Для исследования вскрышных пород пробы должны отбираться из каждой литологической разности через каждые 2—3 м по глубине и не менее чем в шести точках на площади месторождения.

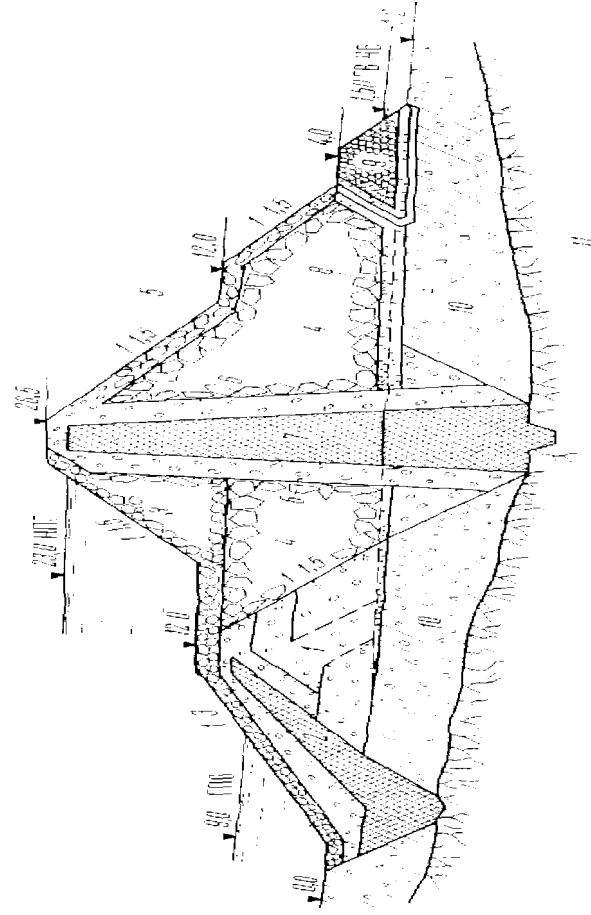


Рис 55 Профиль канально-земляной части из грунтов поперечных вальмов

1 — дроба цукрового комбикса из вальмовых грунтов, 2 — ядро из бетона, 3 — ядро из бетона, 4 — ядро из бетона, 5 — ядро из бетона, 6 — ядро из бетона, 7 — ядро из бетона, 8 — ядро из бетона, 9 — ядро из бетона, 10 — ядро из бетона, 11 — ядро из бетона

ГПД — горный профиль отрыва

Наряду со стремлением разместить будущие карьеры строительных материалов для возведения земляных сооружений в зоне проектируемого затопления необходимо во всех случаях рассматривать возможность использования для этих целей грунтов из полезных выемок, разведывать грунты и изучать их качество.

Места полезных выемок грунтов — это места будущих сооружений: плотина, донный водоспуск, водослив, насосные станции и др., где для их проектирования выполняются соответствующие инженерно-геологические изыскания. С учетом этого объемы разведки и опробования материала полезных выемок для его использования в земляных насыпях должны быть лишь дополнены до рекомендуемых в табл. 22. При этом наряду с лабораторными исследованиями материала выполняются полевые экспериментальные работы непосредственно на объекте строительства. В состав натурных экспериментальных исследований входит установление опытным путем рационального способа буровзрывных работ по скальным породам в пределах полезной выемки для получения таких фракций каменного материала, при которых достигается наибольшая плотность материала в теле насыпи; установление в производственных условиях гранулометрического состава рыхлых грубообломочных аллювиальных грунтов при полезной их выемке из-под воды; отработка рациональных способов отсыпки и уплотнения различного материала в разных конструктивных элементах земляной насыпи; оценка характера и степени подверженности камня процессам выветривания и др.

Для выполнения указанных исследований привлекаются соответствующие научно-исследовательские и строительные организации. Использование для земляных насыпей грунтов полезных выемок существенно сокращает площади земель, отводимых под карьеры (в случаях, когда не представляется возможным разместить карьеры в зоне затопления), и, как правило, снижает строительную стоимость объекта.

На одном из объектов, где изыскания и проектирование выполнялись Восточно-Сибирским отделением Союзводоканалпроекта с участием автора, а исследования грунтов полезных выемок в лаборатории и в натуре — ВНИИ Водгео (с участием проектной организации, заказчика, подрядчика и института «Проектгидромеханизация»), экономия от использования этих грунтов для возведения водохранилищной плотины составила около 3 млн. руб. Рекомендованный проект этой плотины показан на рис. 55.

### 6 ОБЪЕМЫ ПРОБ ГРУНТОВ НА ИССЛЕДОВАНИЕ КАК МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЗЕМЛЯНЫХ НАСЫПЕЙ

На исследование грунтов как материала для земляных насыпей с определением показателей, приведенных в табл. 23, пробы необходимо отбирать в следующих объемах.



Показатели, характеризующие качество грунтов  
как материала для земляных насыпей

Показатели	Грунты			
	связные	рыхлые		каменные
		песчаные	крупно-обломочные	
Гранулометрический состав	+	+	+	+
Естественная влажность	+	+	+	+
Объемная масса ненарушенной структуры и естественной влажности	+	+	+	+
Объемная масса в предельно рыхлом и предельно плотном состоянии	—	+	—	—
Плотность	+	+	+	+
Пределы пластичности	+	—	+	—
Максимальная молекулярная влагоемкость	+	—	—	—
Полная влагоемкость	+	—	—	—
Размокание	+	—	—	—
Содержание органических примесей	+	+	—	—
Содержание водорастворимых солей	+	+	—	—
Набухаемость	+	—	—	—
Компрессионные свойства	+	+	+	+
Коэффициент фильтрации под нагрузкой	+	—	—	—
Капиллярное поднятие	+	+	—	—
Минеральный состав	+	+	—	—
Угол естественного откоса	—	+	+	+
Петрографический состав	—	—	+	+
Окатанность зерен	—	+	+	—
Морозостойкость	—	—	+	+
Водопоглощение	—	—	—	+
Оптимальная влажность и плотность	—	—	—	—
Состав цемента, песчаников, конгломератов	—	—	—	—
Временное сопротивление раздавливанию в воздушно-сухом, водонасыщенном состоянии и после промораживания	—	—	+	+

\* Размер и форма обломков

\*\* Связного заполнителя

\*\*\* Уплотнение в опытной насыпи

\*\*\*\* Для возведения насыпи намытым способом

**Связные грунты** — пробу нарушенной структуры не менее 3—4 кг и к каждой пробе нарушенной структуры — монолит ненарушенной структуры размером около 10×10×10 см и грунт в бокс для определения объемной массы ненарушенной структуры при естественной влажности.

**Песчаные грунты** — пробу нарушенной структуры не менее 5 кг, пробу грунта в три бокса ненарушенной структуры и естественной влажности и пробу грунта в бокс для определения

естественной влажности и объемной массы ненарушенной структуры при естественной влажности.

**К р у п н о о б л о м о ч н ы е** грунты — масса пробы зависит от наличия в материале остаточной пробы крупных фракций, но не менее 5 кг.

Каменные грунты — при использовании камня для дренажной призмы в основании низового откоса плотины и для крепления верхового откоса — по одному камню размером не менее 25 см длиной, 20 см шириной и 20 см высотой или по два камня размером не менее  $20 \times 15 \times 15$  см каждой пробы.

При использовании каменного материала в основное тело насыпи, когда в лабораторных условиях каменный материал (его зерновой состав, объемная масса, уплотняемость, угол откоса, сопротивление сдвигу и др.) изучается по модельным смесям (уменьшенным по отношению к натурным условиям в том или ином масштабе), масса проб должна быть не менее 500 кг.

При исследовании песка, гравийно-галечно-валунной естественной смеси, камня на щебень для использования в бетоне с определением показателей, приведенных в табл. 24, проба должна составлять: песка — не менее 10 кг, гравийно-галечно-валунного материала — не менее 100 кг; камня — не менее 50 кг.

Т а б л и ц а 24

Показатели, подлежащие определению  
при исследовании песка и каменного материала для бетона

Показатели	Песок	Гравийно-галечно-валунная смесь	Камень на щебень
Гранулометрический состав с выделением фракций < 0,001 мм	+	+	—
Петрографический состав	—	+	+
Минеральный состав	+	—	—
Объемная масса	+	+	+
Плотность	+	+	+
Содержание органических примесей	+	+	—
Содержание сернокислых и серпистых соединений	+	+	+
Количество зерен слабых пород	—	+	—
Прочность (дробимость)	—	+	+
Морозостойкость	—	+	+
Водопоглощение	—	+	+

Если грунты основания, для земляных насыпей или как инертный материал в бетон подлежат исследованию по комплексу характеристик, выходящих за пределы, указанные в табл. 21—23 (например, дополнительное определение пучения, полного состава показателей деформации по табл. 17 для грунтов основания, испытание реакционной способности инертного материала для

бетона и его испытание в бетоне), объемы проб должны быть увеличены против указанных выше или отобраны по целевому назначению. Увеличение объема обычных или целевых проб должно быть в каждом конкретном случае согласовано с лабораторией, выполняющей исследования, применительно к принятой в лаборатории методике и имеющейся аппаратуре.

При опробовании месторождений камня может возникнуть необходимость определения выхода товарной продукции — размера и формы камней и отхода породы в щебень. Это выполняется путем проведения опытных взрывов, рассчитанных на обрушение или разрушение и выемку (в зависимости от места заложения взрывных средств в обрыве обнажения, на специально подготовленной площадке и др.) пород в объеме не менее 50 м<sup>3</sup>. Участки опытных взрывов выбирают с учетом характера трещиноватости массива камня, взрывы производят не менее чем в трех пунктах.

## 7. ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРОБ ГРУНТОВ

Для каждой отобранной пробы грунтов составляется этикетка-паспорт со следующими сведениями:

а) наименование организации, проводящей изыскания, название или номер экспедиции (партии);

б) название участка отбора проб грунтов (створ плотины, площадка насосной станции, пруд-накопитель, поля фильтрации, трасса водовода, месторождение суглинков, песка, гравия, камня и др.);

в) название выработки, из которой отобрана проба грунта (скважина, шурф, расчитка, обнажение, полезная выемка и др.), и ее номер;

г) глубина отбора пробы;

д) наименование грунта (породы) по визуальному определению (суглинок тяжелый, супесь легкая, песок с указанием зернистости, гравийно-галечниковая смесь, известняк, песчаник и др.);

е) геологический возраст и генезис грунта (породы);

ж) дата отбора;

з) должность, фамилия и подпись лица, отбравшего пробу.

Этикетки должны заполняться четко, простым карандашом, исключающим возможность его обесцвечивания.

На отобранную партию проб грунтов для отправки в лабораторию составляется ведомость в трех экземплярах. В ведомости приводятся сведения, перечисленные выше, а также дополнительно:

а) назначение грунтов (пород): грунты основания, грунты (породы) для тела плотины, грунты оползневого склона, материал для бетона и др.;

б) структура пробы грунта, ее размер, масса;

в) необходимые исследования;

г) особые условия методики исследований (для определения угла внутреннего трения, компрессионных свойств, просадочности, коэффициента фильтрации и др.).

К ведомости прикладывается схема участка (площадки) изысканий и расположения выработок, точек отбора проб.

Один экземпляр ведомости оставляется в экспедиции (партии), второй с образцами грунтов (пород) направляется в лабораторию и третий со схемой и сопроводительным письмом высылается в отдел изысканий института (отделения). В письме указываются дата отправки проб и число мест. В отделе изысканий по ведомости проверяется правильность назначенных экспедицией (партией) исследований и соответствие этим исследованиям объема и состояния (по ведомости) проб. Ведомость с пометкой «В производство» и с подписью главного геолога отдела передается в лабораторию.

В лаборатории по получении проб грунтов проверяются их физическое состояние и соответствие этикеток записям в ведомости. При обнаружении дефектов по сохранности проб или по их документации заведующий лабораторией немедленно сообщает об этом в отдел изысканий для принятия соответствующих мер (повторный отбор проб, выяснение ошибок в документации и др.).

## 8. ХРАНЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ПРОБ ГРУНТОВ

Отобранные в поле пробы ненарушенной структуры, запарафинированные, задокументированные и упакованные незамедлительно отправляются в лабораторию. В случае вынужденной задержки отправки образцов (монолитов) допускается хранение их при температуре не ниже  $2^{\circ}$  и не выше  $20^{\circ}\text{C}$  в течение не более 1 мес, а при температуре до  $30^{\circ}\text{C}$  не более 15 дней. Во время хранения и транспортирования образцов необходимо принимать меры против их высыхания или дополнительного увлажнения.

Образцы грунта, отправляемые в лабораторию, расположенные на значительном расстоянии от места отбора образцов, упаковывают в деревянные ящики, вмещающие не более 40 кг грунта. Образцы ненарушенной структуры следует укладывать плотно, что достигается заполнением пустот между образцами древесными опилками, упаковочной стружкой и т. п. Крышки к ящикам прикрепляются не гвоздями, а короткими шурупами, ввинчиваемыми в заранее подготовленные отверстия в крышке и гнезда на верхних кромках стенок ящика. Ящики нумеруют, снабжают надписями «верх» и «не кантовать».

## ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА И ПРОГНОЗ ОБВОДНЕНИЯ (САМОПОДТОПЛЕНИЯ) ПЛОЩАДОК ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОПРОВОДА И КАНАЛИЗАЦИИ

### 1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

До последнего времени считалось, что если уровни грунтовых вод на застраиваемой территории (до ее застройки в природных условиях) расположены ниже отметок заложения фундаментов сооружений и связывающих их коммуникаций, то проектирование любых предприятий (заводов, фабрик) и отдельных комплексов жилых, гражданских и промышленных зданий и сооружений должно выполняться по нормативам для строительства в сухих грунтах. В связи с этим в материалах изысканий требовалось лишь указать наивысший уровень грунтовых вод с учетом его амплитуды колебаний от естественных факторов в годовом или в лучшем случае в многолетнем разрезе. Если с учетом этого явления уровни грунтовых вод оказывались все же ниже отметок заложения фундаментов, то это было достаточным обоснованием для проектирования сооружений по отмеченным выше нормативам.

Когда же с учетом амплитуды колебаний уровни подземных вод на какой-то непродолжительный период (в паводок, при весенних или осенних ливнях) ожидалось на отметках или выше отметок заложения фундаментов, в проектах предусматривалась гидроизоляция (глиняные замки, оклейка и др.) как мероприятие от периодического, временного подтопления подземных частей сооружений. Никакие другие защитные мероприятия от постоянного подтопления сооружений и тем более от обводнения всей застраиваемой площадки не проектировались и не строились, поскольку для этого, как считалось, не было оснований.

Между тем еще четверть века назад было замечено и затем в ряде случаев установлено специальными натурными исследованиями, что на площадках многих промышленных предприятий, построенных в годы первых пятилеток, уровни грунтовых вод, находившиеся до застройки территории на глубине существенно ниже заложения фундаментов сооружений (до 10—30 м от поверхности земли), за 10—15 лет поднялись на значительную высоту, в отдельных случаях до отметок планировки, подтопив фундаменты сооружений, подземные коммуникации и обводнив площадку в целом. В связи с этим на ряде промышленных площадок стали проектироваться с участием автора специальные мероприятия по

снижению уровня грунтовых вод, главным образом дренажи, строительство которых в условиях действующего предприятия было сопряжено со многими трудностями.

Несмотря на это, народнохозяйственное значение проблемы обводнения промышленных площадок при эксплуатации выстроенных на них сооружений долгое время недооценивалось. Это было связано в основном с казавшейся бессмысленной затратой значительных материальных средств на строительство «впрок» защитных мероприятий от подтопления сооружений в условиях, когда видимые реальные причины обводнения отсутствовали и обводнение прогнозировалось недостаточно обоснованными методами.

Лишь в начале девятой пятилетки, когда накопилось значительное количество фактов подтопления промышленных площадок и территорий жилых массивов и когда вследствие подтопления усложнились условия эксплуатации промышленных объектов, стали разрушаться фундаменты зданий и сооружений и нарушаться целостность последних, проблема борьбы с подтоплением осваиваемых территорий приобрела государственное значение и была включена в план ГКНТ Совета Министров СССР для разработки новых методов прогноза изменения уровня и качества грунтовых вод в процессе строительства и эксплуатации промпредприятий и рекомендаций по проектированию защитных сооружений от подтопления. Научно-исследовательские работы по этой тематике выполнялись в течение 1971—1975 гг. ВНИИ Водгео, ПНИИСом и другими организациями [122, 125]

В объединении СоюзводоканалНИИпроект в практике проектирования очистных сооружений водопровода и канализации, состоящих, как известно, в основном из емкостных сооружений (резервуаров, отстойников, аэротенков, метантенков и др.), прогнозы подтопления сооружений и проектирование при необходимости защитных мероприятий выполняются с 1958 г. и особенно широко с 1969 г., когда по имевшимся к тому времени отдельным научным проработкам С. К. Абрамова, Н. Н. Биндемана и Ф. М. Бочевера автором были составлены в 1969 г. «Краткие методические рекомендации по прогнозу изменения во времени уровня режима грунтовых вод на площадках очистных сооружений водопровода и канализации». В этой работе автора, а также в работах [122, 125] показано, что на территориях, осваиваемых под строительство промышленных предприятий, комплексов сооружений и жилых массивов, в результате ухудшения стока ливневых и талых вод, уменьшения испарения и повышения конденсации влаги в грунтах под зданиями и покрытиями, а также утечек воды из зданий и коммуникаций происходит нарушение естественно сложившегося динамического равновесия между приходом и расходом влаги. Гидрогеологическая обстановка по сравнению с первоначальной естественной существенно изменяется: образуются верховодки, повышаются уровни грунтовых вод и нередко подтапливается вся застроенная территория. Проекти-

руемые обычно для застраиваемых территорий мероприятия по упорядочению поверхностного стока (планировка территории, устройство нагорных канав, водостоков и др.) уменьшают если эти мероприятия правильно выполняются в натуре) величину подъема уровня грунтовых вод, но не исключают его полностью, так как утечки воды из сооружений и коммуникаций при их эксплуатации неизбежны.

Явления подтопления промплощадок осложняют эксплуатацию большей части зданий и сооружений, вызывая неравномерные осадки грунтов основания, коррозию и разрушение фундаментов. Для емкостных сооружений водопровода и канализации подтопление является особо опасным; оно может привести к нарушению целостности сооружений, их перекосу, образованию трещин и поломке их днищ при опорожнении сооружений для чистки, ремонта и др.

Поэтому при изысканиях для проекта очистных сооружений водопровода и канализации прогноз уровня грунтовых вод является обязательным.

## **2. СОСТАВ, ОБЪЕМ И МЕТОДИКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Для прогноза уровня режима подземных вод на площадках проектируемых очистных сооружений водопровода и канализации в комплексе с инженерно-геологическими (по выявлению физико-механических, водных, деформационных и прочностных свойств грунтов для строительного проектирования) должны выполняться и гидрогеологические исследования.

В результате комплексной гидрогеологической (геоморфологической, геолого-литологической и гидрогеологической) съемки территории размещения площадок необходимо выявить, к каким морфологическим элементам приурочены площадки, характер их рельефа и высотное его положение, наличие и характер водоносных горизонтов (безнапорные, напорные) и естественные гидрогеологические границы водоносных горизонтов. По типу границ могут быть: неограниченный водоносный пласт, когда влияние дополнительной искусственной инфильтрации, которая будет происходить на площадке, не распространяется в течение расчетного времени до границ пласта; полуограниченный пласт, когда он имеет границу с одной стороны, оказывающую (с некоторого момента времени, которое меньше расчетного от начала эксплуатации сооружений) влияние на поток подземных вод. В этом случае граница может быть контуром питания или стока (водоток, водоем, более водопроницаемый пласт, чем данный) либо водонепроницаемым контуром (коренной берег, сложенный водонепроницаемыми породами, тектонический контакт и др.); ограниченный пласт с двух сторон. При этом одна граница может быть контуром стока, другая — контуром питания или одна — контуром стока либо питания, а другая — водонепроницаемым контуром, или, наконец, обе

границы могут являться контуром питания либо стока или водонепроницаемыми контурами.

В природных условиях возможно и более сложное сочетание гидрогеологических границ водоносных пластов. Их выявление и учет в расчетных схемах являются важнейшим условием прогноза уровня режима подземных вод. Поэтому гидрогеологическая съемка должна охватывать не только площадку проектируемых очистных сооружений, но и прилегающую к ней территорию до ближайших границ пласта.

При наличии в пределах съемки водоносных горизонтов они должны быть изучены в отношении их мощности, состава водосодержащих пород, степени однородности пород по разрезу и в плане, направления и скорости потока подземных вод, их режима, химического состава и температуры.

По каждому водоносному горизонту должны быть также определены следующие гидрогеологические параметры: коэффициенты фильтрации, водопроводимость, пьезопроводность (уровнепроводность), водоотдача. Одновременно должны быть выявлены глубина залегания и характер водоупора, литологический состав и мощность отложений зоны аэрации, природная влажность грунтов зоны аэрации, влагоемкость, недостаток насыщения, высота капиллярного натяжения, водопроницаемость.

Освещение общих гидрогеологических условий и определение перечисленного комплекса параметров осуществляются путем наземных наблюдений, а также бурения разведочных и опытных скважин, проходки шурфов и проведения опытно-фильтрационных полевых и лабораторных исследований.

Разведочные выработки следует располагать на линиях по потоку подземных вод. Шаг между выработками в пределах площадки очистных сооружений и на прилегающих к ней территориях принимается исходя из необходимости выявления инженерно-геологической обстановки для строительного проектирования (см. гл. II, V). При этом следует учитывать морфологические особенности этих участков, характер их геолого-литологического и гидрогеологического строения, наличие и удаленность от площадки гидрогеологических границ водоносного пласта, который будет принимать дополнительную инфильтрацию. Все эти сведения в общих чертах бывают уже известны по материалам предыдущих исследований.

При длине разведочных линий вне площадки до 1 км в пределах одного геоморфологического элемента расстояния между скважинами могут быть приняты 200—300 м, при большей длине — 300—500 м. Если разведочная линия проходит по различным морфологическим элементам местности, скважины следует располагать у границ элемента и в его пределах с учетом указанного выше шага между ними.

Все скважины должны быть доведены до водоупора, а вскрытые ими водоносные пласты опробованы опытной откачкой или



наливом в зависимости от ожидаемой водоотдачи пласта или его водопроницаемости. После опробования скважины должны быть оборудованы фильтрами малого диаметра для наблюдений за режимом подземных вод.

В пределах площадки очистных сооружений часть скважин из числа намеченных для инженерно-геологических исследований также должна быть доведена до водоупора с опробованием по этим скважинам фильтрационных свойств водоносных пластов и оборудованием их для режимных наблюдений. Следует стремиться к тому, чтобы эти скважины приходились на профили по разведочным линиям.

Водопроницаемость грунтов зоны аэрации определяется методами опытных наливов воды в шурфы и скважины. Для постановки таких опытов при размерах площадок очистных сооружений до 10 га можно принимать одну точку на 1—1,5 га, при больших площадях — одну точку на 1—2 га.

В результате изысканий для прогноза обводнения (самоподтопления) площадок очистных сооружений водопровода и канализации должны быть составлены следующие материалы: ситуационный план района размещения проектируемых очистных сооружений, гидрогеологическая карта района с показом гидрогеологических границ водоносного пласта с их характеристикой, карта гидроизогипс, план площадки очистных сооружений с указанием планировочных отметок, расположения проектируемых сооружений и их строительной и эксплуатационной характеристикой (форма, размеры, намечаемый способ производства строительных работ, заглубление, отметки наполнения емкостных сооружений водой, сточной жидкостью), гидрогеологические разрезы по разведочным линиям по потоку подземных вод через площадку до границ пласта с показом на них литологического состава пород, уровней воды, водоупора, мест расположения и глубины заложения дниц (фундаментов) сооружений и коммуникаций.

На ситуационном плане должны быть показаны, кроме того, существующие естественные (реки, ручьи, овраги, возвышенности), существующие и проектируемые искусственные (водозаборы, водохранилища, каналы, карьеры, здания, сооружения, предприятия, поселки) объекты, а также участки дренажа и полива.

В результате изысканий должны быть получены и отмеченные выше гидрогеологические характеристики грунтов зоны аэрации и водоносных пластов, а также физико-механические, прочностные и деформационные показатели грунтов основания проектируемых сооружений для оценки возможных изменений этих показателей при обводнении площадки.

### **3. ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД НА ПЛОЩАДКАХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Прогноз может быть сделан путем соответствующей обработки данных наблюдений за режимом грунтовых вод на площадке до ее застройки и при эксплуатации выстроенных сооружений или при

отсутствии данных наблюдений за режимом грунтовых вод в период эксплуатации путем аналитических расчетов на основе материалов изысканий.

Для выполнения прогноза в первом случае рекомендуется пользоваться методикой Н. Н. Биндемана [26]. Некоторые рекомендации по методике расчета при отсутствии данных о режиме грунтовых вод в процессе эксплуатации сооружений приводятся ниже.

При заполнении емкостных сооружений водопровода и канализации чистой водой или сточными водами из них (через днище и стены) происходят постоянные потери жидкости на фильтрацию. Количество потерь для емкостных сооружений водопровода и канализации принимается по СНиП равным  $3 \text{ л/сут с } 1 \text{ м}^2$  фильтрующей площади сооружения.

Это количество фильтрационных потерь является не только минимально возможным, но и в некоторой мере заниженным, поскольку потери происходят и из сооружений, и из связывающих их коммуникаций. Поэтому следует всегда иметь в виду, что прогноз по фильтрационным потерям только из сооружений дает низший предел повышения уровня грунтовых вод на площадке, и при расчетах по возможности учитывать также потери жидкости из коммуникаций (по аналогии, опыту эксплуатации водопроводов и канализации, литературным данным). Вместе с тем нельзя и завышать расчетные данные, так как это может привести к неоправданному утяжелению конструкций сооружений и увеличению их строительной стоимости или к необоснованному устройству дренажей.

Водопроницаемость грунтов основания сооружений (глин, суглинков, супесей и тем более грубообломочных грунтов), как правило, выше, чем сборного железобетона, из которого обычно возводятся емкостные сооружения (коэффициент фильтрации железобетона принимается равным  $0,003 \text{ м/сут.}$ ) В связи с этим при расчетах подъема уровней грунтовых вод следует исходить из условий, что фильтрация жидкости из сооружения будет происходить в слое бетона с полным заполнением пор, а в слое нижележащих грунтов — в зоне аэрации от низа бетонного днища сооружения до уровня грунтовых вод — с неполным заполнением пор.

В этих условиях время  $t_0$ , в течение которого фильтрационный поток жидкости из сооружения достигнет уровня грунтовых вод, может быть определено по формуле (94). По достижении фильтрационным потоком жидкости уровня грунтовых вод последний начнет подниматься под сооружением. Подъем может происходить с разной скоростью и на разную высоту в зависимости от интенсивности инфильтрации и водопроводимости пласта. В одних случаях уровень может подняться до подошвы сооружения и выше, в других — инфильтрация из сооружений может привести лишь к образованию под сооружениями «водяного бугра» той или иной высоты, не достигающего подошвы сооружения. Последнее может быть при быстром оттоке воды по водоносному пласту, например при высо-

кой водопроницаемости пласта, наличии вблизи сооружения дрены (естественной или искусственной) и др.

Задача прогноза уровней грунтовых вод под сооружениями водопровода и канализации при их эксплуатации в основном состоит в определении темпа роста под ними «водяного бугра» и предельной его высоты. Расчет может быть выполнен по формуле [33]

$$S_t = \sqrt{h_e^2 + \frac{Q}{2\pi k} R_{пл}} - h_e, \quad (135)$$

где  $S_t$  — высота подъема уровня грунтовых вод в любой точке под сооружением или за пределами его внешних контуров в любой момент времени  $t > t_0$ ;

$t_0$  — момент смыкания фильтрационного потока жидкости с уровнем грунтовых вод;

$h_e$  — естественная (до начала фильтрации) мощность водоносного пласта;

$k$  — коэффициент фильтрации водоносного пласта;

$R_{пл}$  — безразмерное гидравлическое сопротивление, зависящее от фильтрационной среды, куда поступает инфильтрационный поток, координат точки, в которой определяется повышение уровня, и от времени  $t$

$$R_{пл} = f\left(\frac{r}{R_0}; \frac{at}{R_0^2}\right).$$

Здесь  $r$  — расстояние от центра сооружения (емкости), откуда происходит фильтрация, до точки, в которой определяется подъем уровня;

$t$  — время, принятое для расчета;

$R_0$  — радиус круга, к которому приводится фильтрующая площадь сооружения (емкости) или группы рядом расположенных сооружений (емкостей);

$a$  — коэффициент пьезопроводности (уровнепроводности) водоносного пласта, определяемый по средней в процессе повышения уровня мощности водоносного пласта  $h_{ср}$ , его коэффициенту фильтрации  $k$  и недостатку насыщения  $\mu$ ,

$$a = \frac{kh_{ср}}{\mu}.$$

Для ориентировочных расчетов можно принимать  $h_{ср} \approx h_e$  и следующие значения  $\mu$ : для суглинков — 0,01—0,03, супесей — 0,05—0,10, мелкозернистых песков — 0,10—0,15, среднезернистых песков — 0,15—0,20, крупнозернистых песков — 0,20—0,25, гравийно-галечниковых отложений — 0,25—0,35.

Безразмерное фильтрационное сопротивление  $R_{пл}$  может быть определено для различных значений  $r$  и  $F_0$  по графику на рис. 47 или по таблицам, приведенным в работах [34, 37].

Принимая  $h_{\text{ср}} \approx h_e$ , следует иметь в виду, что получаемые при этом результаты подсчета повышения уровня грунтовых вод будут несколько заниженными, поскольку  $h_{\text{ср}}$  всегда больше  $h_e$  и, следовательно, значение  $a$  в действительности будет больше полученного по расчету при  $h_{\text{ср}} \approx h_e$ .

Для более точных расчетов  $\mu$  должно быть определено опытным путем в полевых условиях, а значение средней мощности пласта может быть найдено по зависимости [33]

$$h_{\text{ср}} = \frac{2h_e + h_p}{3}, \quad (136)$$

где  $h_p$  — мощность водоносного горизонта к концу расчетного периода.

Значение  $h_p$  заранее неизвестно и им можно задаваться в пределах от  $h_e$  до  $h_n$ , где  $h_n = h_e + z$  ( $z$  — расстояние от уровня грунтовых вод до дна сооружения).

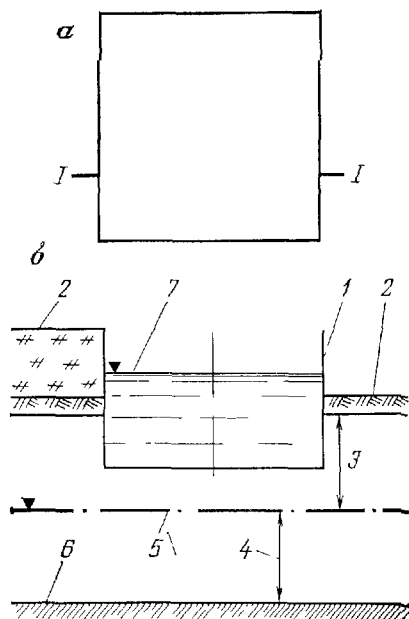


Рис 56 Схема расположения емкостного сооружения.

$a$  — план;  $b$  — разрез по  $I-I$   
 $1$  — железобетонная емкость;  $2$  — поверхность планировки;  $3$  — зона аэрации;  $4$  — водоносный пласт;  $5$  — уровень грунтовых вод;  $6$  — водоупор;  $7$  — уровень жидкости в емкости

При значительной естественной мощности водоносного пласта, когда  $S_t \ll h_e$ , формула (135) может быть представлена в более простом виде [37]:

$$S_t = \frac{Q}{4\pi k h_e} R_{\text{пл}}. \quad (137)$$

Для прогноза по формулам (135) и (137) повышения уровней грунтовых вод под отдельным емкостным сооружением  $Q$  следует определять по суммарной площади дна сооружения и его стен в пределах (рис. 56):

а) полной высоты столба жидкости в сооружении, если отметка уровня ее ниже отметки планировки;

б) части высоты столба жидкости в сооружении — от его дна до отметки планировки, если последняя ниже отметки уровня жидкости в сооружении.

Эти же площади следует принимать в расчете и при определении  $R_0$ .

При наличии на площадке нескольких сооружений, расположенных друг от друга на расстояниях, меньших половины размера в плане самих сооружений, для прогноза повышения уровня грунтовых вод на площадке в любой ее точке и под любым сооружением  $Q$  следует определять по суммарной площади всех сооружений. Площадь для определения  $R_0$  в этом случае может быть принята в пределах замкнутого контура, проведенного по внешним (по отношению к центру площадки) точкам периметра наиболее удаленных сооружений.

При наличии на площадке нескольких существенно удаленных друг от друга сооружений (расстояния между ними превышают половину размера в плане каждого сооружения, из которых возможна фильтрация) расчеты могут выполняться на основе приведенных выше формул методом сложения течений. В этом случае подъем уровня грунтовых вод в любой точке площадки вне сооружений или под любым сооружением будет равен

$$S_i = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{4\pi kh_{cp}} R_{пл\ i}, \quad (138)$$

где  $Q_i$  — фильтрационный расход из  $i$ -го сооружения;  
 $R_{пл\ i}$  — то же, что и в формуле (135), вычисляемое для  $i$ -го сооружения ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , где  $n$  — число сооружений).

Определение темпа и высоты подъема уровня грунтовых вод в зависимости от цели прогноза ведется от естественных уровней — минимальных, средних, максимальных, — называемых расчетными.

Расчетные уровни устанавливаются по наблюдениям за их режимом в период изысканий на данной площадке с учетом амплитуды колебания в многолетнем разрезе. В связи с этим наблюдения за режимом грунтовых вод на площадке проектируемого размещения сооружений водопровода и канализации необходимо проводить с начала изысканий для технического проекта и до окончания изысканий для рабочих чертежей. Благодаря этому наблюдениями почти всегда может быть охвачен полный гидрологический год, а нередко и более длительный период. Данные об амплитуде колебания уровней грунтовых вод в многолетнем разрезе могут быть получены для большей части районов СССР из материалов гидрогеологических режимных станций. При отсутствии таких материалов по тому или иному району величина амплитуды колебаний

может быть принята по данным близлежащих станций, расположенных в аналогичных природных условиях. Для оценки наблюдаемых в период изысканий уровней грунтовых вод следует определять, на какой год по водности и на какую обеспеченность они приходятся.

Для прогноза должна быть построена расчетная схема с отражением в ней природных и проектируемых строительных условий.

Приведенные выше расчетные формулы (135) и (137) пригодны для практически неограниченных пластов. Ими можно пользоваться также и для ограниченных пластов в течение времени  $t < t_r$ . При  $t > t_r$  необходимо учитывать влияние границы пласта. В этом случае формулы (135) и (137) можно записать соответственно так:

$$S_t = \sqrt{h_e^2 + \frac{Q}{2\pi k} [R_{пл}(\bar{r}, F_0) \pm R_{пл}(\bar{\rho}, F_0)]} - h_e, \quad (139)$$

$$S_t = \frac{Q}{4\pi k h_e} [R_{пл}(\bar{r}, F_0) \pm R_{пл}(\bar{\rho}, F_0)], \quad (140)$$

где  $\bar{\rho} = \frac{\rho}{R_0}$  ( $\rho$  — расстояние от точки, в которой определяется повышение уровня грунтовых вод, до ее отображения относительно границы пласта).

Знак минус в квадратных скобках принимается в тех случаях, когда граница пласта является по отношению к нему дренажной, знак плюс — когда граница пласта водонепроницаема или когда со стороны ее происходит подпор грунтовых вод.

Приведенные в краткой форме методы и расчетные зависимости по прогнозу обводнения площадок очистных сооружений водопровода и канализации относятся к простым, хотя и нередко встречающимся гидрогеологическим условиям.

Более широко и обстоятельно, применительно к различным гидрогеологическим и инженерным условиям промплощадок вопросы обводнения застраиваемых территорий рассматриваются в отмеченной выше работе [125].

Несмотря на многочисленные факты обводнения (самоподтопления) застроенных территорий в различных природных условиях, гидрогеологические наблюдения за возникновением и развитием этого явления проводятся в недостаточном объеме. Поэтому во всех случаях застройки той или иной территории (площадки) следует предусматривать в проекте устройство специальной сети пунктов наблюдений (скважин, постов и др.) за режимом грунтовых вод и вести по ней регулярные и постоянные наблюдения при эксплуатации выстроенных сооружений.

Такие наблюдения важны не только для своевременного при необходимости принятия соответствующих мер против обводнения площадки, но и для накопления фактических данных с целью сопоставления теории этого вопроса с практикой и дальнейшего совершенствования на ее основе существующих методов прогноза обводнения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 *Абелев М Ю* Аварии фундаментов сооружений /МИСИ М, 1975.
- 54 с
- 2 *Абрамов Н Н* Водоснабжение М, Стройиздат, 1974 480 с
- 3 *Абрамов С К* Гидрогеологические расчеты притока воды в котлованы и искусственного понижения уровня грунтовых вод М—Х, Углетехиздат, 1952 47 с
- 4 *Абрамов С К, Наифельд Л Р, Скиргелло О Б* Дренаж промышленных площадок и городских территорий М, Госстройиздат, 1954 428 с
- 5 *Абрамов С К, Бабушкин В Д* Методы расчета притока воды к буровым скважинам М, Госстройиздат, 1955 384 с
- 6 *Абрамов С К, Газизов М С, Костенко В И* Защита карьеров от воды. М, Недра, 1976 230 с
- 7 *Алексеев В С, Тесля А Г* Временные методические указания по определению фильтрационных свойств пород при опробовании водоносных горизонтов /ВСЕГИНГЕО М, 1967 30 с
- 8 *Алексеев В С, Курманенко А Д* О методике оценки зональной проницаемости водоносных пластов по данным расходомерии — Разведка и охрана недр, 1970, № 5
- 9 *Арцев А И, Масьяков Е Ф* Определение методом ЭГДА фильтрационных потерь в основании Карабашской плотины Инф техн бюлл, 1958, № 1—2, с 147—156
- 10 *Арцев А И* Определение эксплуатационного дебита инфильтрационных водозаборов — Водоснабжение и санитарная техника, 1964, № 4, с 26—32
- 11 *Арцев А И* Об оценке экономической эффективности разведки подземных вод — Разведка и охрана недр, 1965, № 10, с 29—31
- 12 *Арцев А И* Опыт использования при геологических изысканиях взаимосвязей между отдельными природными явлениями — Проектирование водоснабжения и канализации, 1966, вып 25, с 1—7
- 13 *Artsev A I* Prospecting to design subterranean water intake installations Moscow USSR Ministru of Public Healthn Central Institute of Advanced Medical Studies, 1966
- 14 *Арцев А И* Об определении расчетных величин сопротивления сдвигу связных грунтов основания сооружений — Проектирование водоснабжения и канализации, 1968, вып 47, с 1—9
- 15 *Арцев А И* Выбор места для размещения земляных хранилищ промышленных стоков — Водоснабжение и санитарная техника, 1970, № 12, с 2—4
- 16 *Арцев А И* Об инженерно геологическом опробовании горных пород — Проектирование водоснабжения и канализации, 1971, вып 6(75), с 1—6
- 17 *Арцев А И* О некоторых особенностях работы инфильтрационных водозаборов — Проектирование водоснабжения и канализации, 1971, вып 6(75), с 60—67
- 18 *Бабушкин В Д* К вопросу определения водопроницаемости пород в зоне кольматации их — В кн Труды совещания по вопросам водопонижения в гидротехническом строительстве М, 1959, с 22—36
- 19 *Бабушкин В Д, Глазунов И С, Гольдберг В М* Основные принципы эксплуатации и оценка запасов крупных линз пресных вод М, Госгеолтехиздат, 1962 102 с
- 20 *Бабушкин В Д, Плотников И И, Чуико В М* Методы изучения фильтрационных свойств неоднородных пород М, Недра, 1974 208 с
- 21 *Баранов И Я* Принципы геокриологического (мерзлотного) районирования области многолетнемерзлых горных пород М, Наука, 1965 150 с
- 22 *Белый Л Д* Основные вопросы теории и практики инженерной геологии в гидроэнергостроительстве М—Л, Госэнергоиздат, 1957 176 с

- 23 *Белый Л Д, Попов В В* Инженерная геология М, Строиниздат, 1975 312 с
- 24 *Белый Л Д, Рац М В, Чернышев С Н* Статистические методы исследования трещинной водопроницаемости массивов горных пород в основаниях гидротехнических сооружений — Труды координационных совещаний по гидро технике, 1970, вып 48, с 26—34
- 25 *Биндеман Н Н* Гидрогеологические расчеты подпора грунтовых вод и фильтрации из водохранилищ М, Углетехиздат, 1951 71 с
- 26 *Биндеман Н Н* Прогноз повышения уровня грунтовых вод и образование верховодки на участках промышленных предприятий — Труды лаборатории инженерной гидрогеологии ВНИИ Водгео, 1960, сб 3, с 4—36
- 27 *Биндеман Н Н, Язвин П С* Оценка эксплуатационных запасов подземных вод М, Недра, 1970 215 с
- 28 *Биндеман Н Н* Методы определения водопроницаемости горных пород откачками, наливками и нагнетаниями М, Углетехиздат, 1951 52 с
- 29 *Биндеман Н Н* Определение коэффициента фильтрации горных пород методом инфильтрации из шурфов М—Л, Госэнергиздат, 1947 32 с
- 30 *Боголюбов А Н* К вопросу об определении элементов залегания горных пород с помощью геофизических методов — Инженерные изыскания в строительстве, 1973, вып № 10 (28), с 3—6
- 31 *Бондарик Г К, Комаров И С, Ферронский В И* Полевые методы инженерно-геологических исследований М, Недра, 1967 372 с
- 32 *Боревский Б В, Самсонов Б Г, Язвин Л С* Методика определения параметров водоносных пластов по данным откачек М, Недра, 1973 304 с
- 33 *Бочеввер Ф М, Веригин Н Н* Методическое пособие по расчету эксплуатационных запасов подземных вод для водоснабжения М, Госстройиздат, 1961 199 с
- 34 *Бочеввер Ф М* Гидрогеологические расчеты крупных водозаборов подземных вод и водопонизнительных установок М, Госстройиздат, 1963 59 с
- 35 *Бочеввер Ф М, Орадовская А Е* Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнения М, Недра, 1972 51 с
- 36 *Бочеввер Ф М, Гыльбов М М* Оценка заиленности и неоднородности русловых отложений по данным откачек — Разведка и охрана недр, 1966, № 2, с 44—49
- 37 *Бочеввер Ф М* Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод М, Недра, 1968 325 с
- 38 *Бочеввер Ф М, Орадовская А Е* К методике экспериментального определения параметров фильтрации в трещиноватых породах — Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1970, вып 48, с 71—86
- 39 *Бочеввер Ф М, Орадовская А Е* Методические рекомендации по прогнозу распространения проток в водоносных пластах/ ВНИИ Водгео М, 1974 39 с
- 40 *Веригин Н Н* Методы определения фильтрационных свойств горных пород М Строиниздат, 1962 180 с
- 41 *Веригин Н Н, Малышев А С, Саркисян В С* Об определении степени трещиноватости скальных пород в полевых условиях — Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1970, вып 48
- 42 *Веригин Н Н, Шершук Б С* Растворение и вынос солей в основаниях гидротехнических сооружений Труды координационных совещаний по гидро технике, 1970, вып 48
- 43 *Веригин Н Н* Динамика напоров и продвижения фронта загрязнения при действии простейших систем захоронения проток — Труды ВНИИ Водгео, 1973, вып 37, с 52—55
- 44 *Владичирский В И, Комарова А А* Гидрогеологические основы охраны подземных вод на земледельческих полях орошения М, Госгеотехиздат, 1963 139 с
- 45 *Водопонижение* в гидротехническом строительстве/ Л Н Воробков, В М Гаврилко, П В Лобачев, В М Шестаков, М, Стройиздат, 1960 244 с
- 46 *Водопонижение* в строительстве/ А В Емельянов, Д Б Клейман, И К Сталеченко, М И Четьцов М, Стройиздат, 1971 183 с



- 47 *Вопросы закачки промышленных сточных вод Донбасса в глубокие водоносные горизонты*/Под ред С З Сайдаковского Харьков, 1971 85 с
- 48 *Гаврилко В М, Алексеев В С Фильтры буровых скважин* 2 с изд, перераб и доп М, Недра, 1976 342 с
- 49 *Гвоздецкий Н А* Карст. М, Географгиз, 1954 351 с
- 50 *Герсеванов Н М* Основы динамики грунтовой массы М, ОНТИ, 1937 242 с
- 51 *Гольдберг В М* Движение границы раздела двух жидкостей в пласте-полосе — Гидрогеологические вопросы подземного захоронения промстоков, 1969, вып 14, с 119—130
- 52 *Гольдберг В М* Гидрогеологические прогнозы качества подземных вод на водозаборах М, Недра, 1976 152 с
- 53 *Гольдштейн М Н, Макаренко Н А* Об определении просадочных свойств лессовых грунтов — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1970, № 6, с 10—12
- 54 *Гольдштейн М Н* Механические свойства грунтов 2-е изд, перераб М, Стройиздат, 1971 368 с
- 55 *Григорьев В М* Теоретические основы расчета инфильтрационных водозаборов с учетом заиливания речных русел — Водоснабжение и санитарная техника, 1960, № 6, с 18—22
- 56 *Грикевич Э А* Определение гидрогеологических параметров пласта по данным кратковременных откачек — Разведка и охрана недр, 1963, № 3, с 42—45
- 57 *Горькова И М* Теоретические основы оценки осадочных пород в инженерно-строительных целях М, Наука, 1966 136 с
- 58 *Горькова И. М* Физико химические исследования дисперсных осадочных пород в строительных целях М, Стройиздат, 1975
- 59 *Денисов Н Я.* Природа прочности и деформаций грунтов Изб тр М, Стройиздат, 1972 280 с
- 60 *Дзекцер Е С* Движение влаги в грунтах зоны аэрации в связи с подтоплением территории промышленных предприятий (обзор)/ПНИИИС М, 1972 81 с
- 61 *Евдокимов П Д* Проектирование и эксплуатация хвостовых хозяйств обогатительных фабрик М, Госгортехиздат, 1960 419 с
- 62 *Зеергофер Ю О, Шестаков В М* Методика обработки данных опытных откачек вблизи реки Разведка и охрана недр, 1968, № 9, с 38—44
- 63 *Инженерная геология СССР*, Т 1—8/ Под ред Е. М Сергеева М, Изд во МГУ, 1976—1978 гг
- 64 *Инженерно-геологические исследования для гидроэнергетического строительства* М, Госгеолгиздат, 1950 Т I 320 с, т II 354 с
- 65 *Ильина О В* Фильтрационная устойчивость заполнителя трещин в скальных породах, определяемая в полевых условиях и в лаборатории — Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1970, вып 48, с 149—156
- 66 *Инженерно геологические изыскания для строительства гидротехнических сооружений*/Под ред Е С Карпышева М, Энергия, 1972 376 с
- 67 *Инструкция и методические указания по определению водопроницаемости горных пород методом опытных нагнетаний в скважины* И—39—67 М, Энергия, 1968 95 с
- 68 *Инструкция по испытанию грунтов статическими нагрузками (штампом)* РСН—34—70 М, 1970 32 с
- 69 *Инструкция по определению коэффициентов фильтрации водоносных пород методом опытных откачек из скважин* И-28 53 М—Л, Госэнерггиздат, 1955 64 с
- 70 *Истомина В С, Буренкова В В, Мишурова Г В* Фильтрационная прочность глинистых грунтов М, Стройиздат, 1975 219 с
- 71 *Каменский Г Н* Основы динамики подземных вод М, Госгеолгиздат, 1943 248 с
- 72 *Каменский Г Н* Поиски и разведка подземных вод М, Госгеолгиздат, 1947 313 с

- 73 Канализация 5е изд., перераб и доп./С В Яковлев, Я А Карелин, А И Жуков, С К Колобанов М Стройиздат, 1975 632 с
- 74 Каширский В А Липатов Н С, Орлов Я М Изыскания для строительства, водоснабжения и канализации М, Стройиздат, 1971 352 с
- 75 Керкис Е Е Методы изучения фильтрационных свойств горных пород Л, Недра, 1975 231 с
- 76 Кноре М Е, Абрамов С К, Рогозин И С Оползни и меры борьбы с ними М, Стройиздат, 1951 170 с
- 77 Коломенский Н В Специальная инженерная геология М, Недра, 1969 336 с
- 78 Кольцевые дренажи в промышленном и городском строительстве/Под ред С К Абрамова М, Стройиздат, 1971 185 с
- 79 Коноплянцев А А Прогноз режима грунтовых вод методом регрессий — Разведка и охрана недр, 1965, № 6, с 46—51
- 80 Кригер Н Н Трещиноватость и методы ее изучения при гидрогеологической съемке Под ред Д И Щеголева Мат лы по инж геол, вып 2, М, Металлургиздат, 1951 139 с
- 81 Кригер Н Н Состояние вопроса об оценке просадочных свойств грунтов/ЦИНИС М, 1972 60 с
- 82 Лебедев А В Прогноз изменения уровня грунтовых вод на орошаемых территориях М, Госгеолтехиздат, 1957 146 с
- 83 Ломоносов Н Ф Роль гипогенных процессов в литификации четвертичных образований Средней Азии — В кн Генетические основы инженерно геологического изучения горных пород Труды Международной конференции (4—6 июня 1974 г) М, 1974, с 327—338
- 84 Лыкошин А Г Карст и гидротехническое строительство М, Стройиздат 1968 183 с
- 85 Люжон М Плотины и геология Пер. с франц М—Л, ОНТИ, 1936 115 с
- 86 Маслов Н Н Прикладная механика грунтов М, Машстройиздат, 1949. 327 с
- 87 Маслов Н Н Условия устойчивости склонов и откосов в гидротехническом строительстве М—Л, Госэнергоиздат, 1955 468 с
- 88 Маслов Н Н Инженерная геология М, Госстройиздат, 1957 408 с
- 89 Мерзлотные исследования Сб статей, вып 2 Изд во МГУ, 1961 223 с
- 90 Мерзлотные исследования и опыт строительства на вечномёрзлых грунтах в США и Канаде/С С Вялов, П И Мельников, Г В Порхаев и др М, Стройиздат, 1968 95 с
- 91 Методика составления инженерно геологических карт/И В Попов, Р С Кац, А К Кориковская, В П Лазарева М, Госгеолиздат, 1950 47 с с прил
- 92 Методы геологического изучения трещиноватости горных пород при инженерно геологических исследованиях М—Л, Госэнергоиздат, 1957 103 с
- 93 Милованов Л В, Краснов Б П Методы химической очистки сточных вод М, Недра, 1967 148 с
- 94 Минерзин А В Роль процесса гипергенеза в формировании просадочности лессовых пород юга Сибири — В кн Генетические основы инженерно геологического изучения горных пород Труды Международной конференции (4—6 июня 1974 г) М, 1974, с 305—314
- 95 Минкин Е П Гидрогеологические расчеты для выделения зон санитарной охраны водозаборов подземных вод М, Недра, 1967 123 с
- 96 Минкин Е П Взаимосвязь подземных и поверхностных вод и ее значение при решении некоторых гидрогеологических и водохозяйственных задач М, Стройиздат, 1973 103 с
- 97 Михайлов А Е Полевые методы изучения трещин в горных породах М, Госгеолтехиздат, 1956 132 с
- 98 Мосьяков Е Ф Изменение структуры и фильтрационных свойств глинистых экранов под воздействием стоков содово цементного комбината — Проектирование водоснабжения и канализации, 1971, вып 6(75), с 86—89

- 99 Недрига В П, Хапагова Е Я Влияние водопроницаемости шпунтовых стенок на эффективность их работы в гидротехнических сооружениях — В кн Вопросы фильтрационных расчетов в гидротехнических сооружениях М, 1952, с 132—196
- 100 Недрига В П, Романова Е Я Экспериментально аналитический метод расчета фильтрации в районе расположения шламохранилища — Труды ВНИИ Водгео, 1972, вып 35, с 7—19
- 101 Недрига В П Инженерная защита подземных вод от загрязнения промышленными стоками М, Строиниздат, 1976 95 с
- 102 Определение водопроницаемости неводоносных горных пород опытными наливками в шурфы И—41—68 М Энергия, 1969 62 с
- 103 Опытны фильтрационные работы/Под ред В М Шестакова и Д Н Башкатова М, Недра, 1974 203 с
- 104 Орадовская А Е, Бочевер Ф М Приближенный расчет растворения пластовых солей в основании гидротехнических сооружений — Труды ВНИИ Водгео, 1964, вып 6, с 9—14
- 105 Орлов В П Земледельческие поля орошения 3-е изд, перераб и доп М, Сельхозиздат, 1961 144 с
- 106 Основы гидрогеологических расчетов/Ф М Бочевер, И В Гармонов, А В Лебедев, В М Шестаков М, Недра, 1968 367 с
- 107 Основы мерзлотного прогноза при инженерно геологических исследованиях/Под ред В А Кудрявцева М, Изд-во МГУ, 1974
- 108 Очистка производственных сточных вод/Под ред Ю И Турского и И В Филиппова Л, Химия 1967 331 с
- 109 Павилонский В М Метод определения коэффициента фильтрации глинистых грунтов — Труды ВНИИ Водгео, 1964, вып 7, с 59—79
- 110 Палеогидрогеологические методы при изучении артезианских бассейнов — Труды ВСЕГИНГЕО, 1971, вып 38 140 с
- 111 Пилюгин А И Определение расчетной величины просадки лессовидного грунта по результатам трехосного сжатия — В кн Научные сообщения ВНИИ Водгео Гидрогеология М, 1962, с 53—57
- 112 Поиски и разведка подземных вод для крупного водоснабжения М, Недра, 1969 328 с
- 113 Плотников Н А. Оценка запасов подземных вод М, Госгеолтехиздат, 1959 268 с
- 114 Плотников Н И Водоснабжение горнорудных предприятий М, Госгортехиздат, 1959 528 с
- 115 Попов И В Инженерная геология М, Госгеолтехиздат, 1951 445 с
- 116 Порядин А Ф Устройство и эксплуатация инфильтрационных водозаборов М, Стройиздат, 1977 124 с
- 117 Приклонский В А Грунтоведение М, Госгеолтехиздат, 1952, ч 1 — 410 с, ч 2—371 с
- 118 Проектирование водозаборов подземных вод А И Арцев, Ф М Бочевер, Н Н Лапшин и др М, Стройиздат, 1976 291 с
- 119 Радионов Н В Инженерно геологические исследования в карстовых районах М, Госгеолтехиздат 1958 183 с
- 120 Рац В М Неоднородность горных пород и их физических свойств М, Наука, 1968 107 с
- 121 Рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР/ПНИИИС, М, 1967 90 с
- 122 Рекомендации по изучению режима и баланса грунтовых вод на подтапливаемых промышленных площадках/Под ред С К Абрамова и И Я Пантелева/ЦИНИС М, 1973 96 с
- 123 Рекомендации по намыву шламов (хвостов) в плотины и дамбы шламохранилищ железорудных горнообогатительных комбинатов Киев, 1967 120 с
- 124 Рекомендации по проведению инженерно геологических изысканий в районах распространения лессов и лессовидных грунтов/ЦИНИС М, 1968 58 с
- 125 Рекомендации по прогнозам подтопления промышленных площадок грунтовыми водами/Под ред С К Абрамова/ЦИНИС М, 1976 324 с

126. *Рекомендации по проектированию зданий и сооружений в карстовых районах СССР/ЦИНИС. М., 1967. 73 с.*

127. *Рекомендации по проектированию сооружений шламохранилищ металлургической промышленности. 2-е изд., перераб. и доп. М., Стройиздат, 1971. 113 с.*

128. *Рекомендации по проектированию и эксплуатации систем искусственного пополнения подземных вод/Под ред. Ф. М. Бочсвера/ВНИИ Водгео. М., 1976. 223 с.*

129. *Решения и инструктивные указания совещания Гидропроекта по унификации методов исследования грунтов/Гидропроект. М., 1964. 55 с.*

130. *Розовский Л. Б. Введение в теорию геологического подобия и натурного моделирования. М., Недра, 1969.*

131. *Рожdestвенский А. П. К вопросу о природе асимметрии склонов речных долин северо-западной части Башкирии. — В кн.: Вопросы геоморфологии и геологии Башкирии, сб. 1. Уфа, 1957, с. 7—16.*

132. *Романов А. В. Фильтрация в основании плотин при наличии дренажей. — В кн.: Вопросы фильтрационных расчетов гидротехнических сооружений/Под ред. К. А. Михайлова. М., 1952, с. 197—243.*

133. *Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов. М., Стройиздат, 1973. 192 с.*

134. *Рухин Л. Б. Тектонические типы осадочных пород. — В кн.: Совещание по осадочным породам. Вып. 1. М., 1952, с. 89—103.*

135. *Рыльков В. Г., Якунин Ю. В. Из опыта эксплуатации инфильтрационных водозаборов. — В кн.: Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера. Красноярск. 1966, с. 190—198.*

136. *Саваренский Ф. И. Изб. соч. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1950. 412 с.*

137. *Семенов М. П. Инженерно-геологические предпосылки цементационных завес. — В кн.: Труды лаб. инженерной гидрогеологии ВНИИ Водгео. М., 1957, с. 171—186.*

138. *Скоростные методы исследований при гидрогеологических и инженерно-геологических съемках. М., Недра, 1969. 336 с.*

139. *Соколов С. С. Основные условия развития карста. М., Изд-во МГУ, 1962.*

140. *Справочник по инженерной геологии. 2-е изд., перераб. и доп./Под ред. М. В. Чуринова, М., Недра, 1974. 407 с.*

141. *Справочник по инженерно-гидрогеологическим расчетам при изысканиях для гидроэнергетического строительства. М.—Л., Госэнергоиздат, 1955. 104 с.*

142. *Терцаги М. В., Пек Р. Механика грунтов в инженерной практике. Пер. с англ./Под ред. М. Н. Гольдштейна. М., Госстройиздат, 1958. 607 с.*

143. *Указания по проектированию золоотвалов тепловых электрических станций. М.—Л., Госэнергоиздат, 1964.*

144. *Федоров И. С., Добровинская О. Х. Свойства и расчетные характеристики намытых хвостов рудообогатительных фабрик. М., Недра, 1970. 151 с.*

145. *Фильтрация из водохранилищ и прудов/С. В. Васильев, Н. Н. Веригин, Г. А. Разумов, Б. С. Шержуков. М., Колос, 1975. 303 с.*

146. *Фурман И. Я. Геологические построения по данным бурения. Баку. — Л., Азнефтеиздат, 1940. 197 с.*

147. *Цитович Н. А. Основания и фундаменты на мерзлых грунтах. М., Изд-во АН СССР, 1958. 168 с.*

148. *Цитович Н. А. Механика мерзлых грунтов. М., Высшая школа, 1973. 448 с.*

149. *Чикишев А. Г. Методы изучения карста. М., Изд-во МГУ, 1973. 90 с.*

150. *Шабалин А. Ф. Очистка и использование сточных вод на предприятиях черной металлургии. М., Металлургиздат, 1968. 505 с.*

151. *Шержуков Б. С. О расчете неустановившегося притока подземных вод в строительные котлованы при открытом водоотливе. — Труды ВНИИ Водгео, 1969, вып. 22, с. 47—53.*

152. *Шестаков В. М. Оценка сопротивления ложа водоемов при гидрогеологических расчетах. — Разведка и охрана недр 1964, № 5, с. 34—38*

153. *Шестаков В. М. Основы гидрогеологических расчетов при фильтрации из хранилищ промышленных стоков/ВНИИ Водгео. М., 1961. 100 с.*

154. *Шестаков В. М.* Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. М., Изд-во МГУ, 1965. 233 с.
155. *Щелкачев В. Н.* Разработка нефтеводоносных пластов при упругом режиме. М., Гостоптехиздат, 1959. 467 с.
156. *Щукин И. С.* Общая морфология суши. Т. 2. М.—Л., ОНТИ, 1938. 476 с.
157. *Язвин Л. С.* Краткие указания по определению гидрогеологических параметров артезианских водоносных горизонтов для оценки запасов подземных вод с учетом упругого режима/ВСЕГИНГЕО. М., 1962. 27 с.
158. *Язвин Л. С., Боровский Б. В.* Опыт определения расчетных гидрогеологических параметров по данным групповых откачек. — Разведка и охрана недр, 1963, № 4.
159. *Язвин Л. С., Боровский Б. В.* Разведка и оценка эксплуатационных запасов месторождений подземных вод в трещиноватых пластах. М., Недра, 1976. 247 с.
160. *Язвин Л. С.* Достоверность гидрогеологических прогнозов при оценке эксплуатационных запасов подземных вод/ВСЕГИНГЕО. М., 1972.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Адыры 111  
Аэраторы 138  
Аэротенки 136  
Аэрофилтры 138

Башня 50  
«Белое море» 146, 154  
Биоагуляторы 139  
Биофилтры 137, 138  
Бьеф 50  
Булгуныхи 222

Водосброс 47  
Водоспуск 50

Газосборники 137  
Галофиты 66

Денудация 218  
Диафрагма 47, 48  
Дисперсия 178  
Диффузия 179

Зуб 47  
Зола 145  
Золоотвал 146

Инженерно-геологический элемент 227  
Испаритель 146

Карст гипсовый 203  
— карбонатный 203

— соляной 203  
Камера реакций 18  
Коагуляция 135  
Ковши 47  
Коэффициент анизотропии 160, 165  
— водоотдачи 38, 231  
— выветрелости 231  
— закарстованности 207, 231  
— крепости 231  
— недостатка насыщения 38, 231  
— отпора 231  
— Пуассона 231  
— пьезопроводности 39, 230  
— размягчения 231  
— сцепления 231  
— трещинной пустотности 72  
— уровнепроводности 39, 230  
— шероховатости 92

Льдистость 225

Метантенки 139  
Модуль деформации 200, 232  
— трещиноватости 229  
— Юнга 232  
Морозостойкость 232, 261

Накопители 146  
Напорные филтры 19

Озонаторы 137  
Опускной колодец 42  
Осветлители 146  
Отстойники 136, 146

Песколовки 136

Пинго 222  
Поля орошения 152  
Поля фильтрации 152  
Преаэратор 138  
Псевдокарст 213

Температуропроводность 225

Флотация 161  
Флотореагенты 161

Пульпа 154, 158

Хвостохранилище 146, 157  
Хранилища подземные 165

Реагентное хозяйство 18  
Резервуары контактные 137  
Решетки 136

Шлак 165  
Шламонакопители 146  
Шламоохранилища 146, 162  
Штамп 199  
Шламы 145

Сдвиг 6  
Смесители 137  
«Стена в грунте» 42  
Сорбция 179  
Суффозия 105

Экран противofильтрационный 47, 48  
Электролизеры 137  
Эфемеры 66

Теплоемкость 225, 232  
Теплопроводность 225, 232

Ядро в теле платины 47, 48

Предисловие . . . . .	3
<b>ГЛАВА I. Общие положения . . . . .</b>	<b>5</b>
1. Значение инженерно-геологических и гидрогеологических исследований для проектирования . . . . .	5
2. Качество инженерно-геологических и гидрогеологических исследований . . . . .	7
3. Связь изысканий с проектированием и строительством . . . . .	9
4. Технические задания на изыскания и программы изысканий . . . . .	11
5. Стадии изысканий . . . . .	12
6. Факторы, определяющие состав, объем и методику инженерно-геологических и гидрогеологических исследований . . . . .	13
<b>ГЛАВА II. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования для проектирования систем водоснабжения из поверхностных источников . . . . .</b>	<b>16</b>
1. Состав и конструктивные особенности сооружений . . . . .	16
2. Схемы природных условий мест расположения сооружений . . . . .	20
3. Состав, объем и методика инженерно-геологических и гидрогеологических исследований . . . . .	23
<b>ГЛАВА III. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования для проектирования гидротехнических сооружений систем водоснабжения . . . . .</b>	<b>46</b>
1. Состав и конструктивные особенности гидротехнических сооружений систем водоснабжения . . . . .	46
2. Схемы инженерно-геологического строения речных доли . . . . .	50
3. Основные положения выбора створа плотины в долинах различного морфологического и геологического строения . . . . .	52
4. Инженерно-геологические исследования для выбора створа плотины . . . . .	58
5. Инженерно-геологические исследования на выбранном створе плотины и в чаше водохранилища . . . . .	69
6. Гидрогеологические расчеты при инженерно-геологических исследованиях для проектирования водохранилищ и водохранилищных плотин . . . . .	99
<b>ГЛАВА IV. О некоторых вопросах гидрогеологических исследований для проектирования водозаборов подземных вод . . . . .</b>	<b>106</b>
1. О стадийности и методе гидрогеологических исследований месторождений подземных вод на стадии детальной разведки . . . . .	107
2. Гидрогеологические исследования для проектирования береговых (инфильтрационных) водозаборов . . . . .	119
<b>ГЛАВА V. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования для проектирования систем водоотведения . . . . .</b>	<b>135</b>
1. Состав и конструктивные схемы сооружений по отведению и очистке промышленных сточных вод . . . . .	135
2. Состав и объем инженерно-геологических и гидрогеологических исследований . . . . .	141



<b>ГЛАВА VI. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования для проектирования земляных сооружений в системах водоотведения</b>	<b>145</b>
1. Общие замечания . . . . .	145
2. Характеристика земляных сооружений и стоков систем водоотведения	149
3. Выбор места для земляных хранилищ промстоков . . . . .	167
4. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования на участке, выбранном для размещения хранилищ промстоков . . . .	169
5. Определение фильтрационных потерь промстоков из земляных хранилищ . . . . .	179
<b>ГЛАВА VII. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования на территориях с особыми природными условиями . . . . .</b>	<b>193</b>
1. Исследования на территориях, сложенных просадочными грунтами	193
2. Исследования в районах развития карста . . . . .	201
3. Исследования в оползневых районах . . . . .	214
4. Исследования в районах распространения вечномерзлых грунтов . .	220
<b>ГЛАВА VIII. Инженерно-геологическое опробование грунтов основания сооружений и земляных насыпей . . . . .</b>	<b>227</b>
Грунты основания . . . . .	227
1. Общие положения . . . . .	227
2. Качественные и количественные характеристики физико-механических свойств грунтов . . . . .	228
3. О методах исследования грунтов основания . . . . .	233
4. Отбор проб грунтов основания для лабораторных исследований и их объемы . . . . .	249
Грунты для земляных насыпей . . . . .	252
1. Общие положения . . . . .	252
2. Связные грунты . . . . .	254
3. Рыхлые грунты . . . . .	255
4. Камень . . . . .	256
5. Грунты полезных выскок . . . . .	260
6. Объемы проб грунтов на исследование как материала для земляных насыпей . . . . .	260
7. Документация проб грунтов . . . . .	263
8. Хранение и транспортирование проб грунтов . . . . .	264
<b>ГЛАВА IX. Гидрогеологические исследования для прогноза и прогноз обводнения (самоподтопления) площадок очистных сооружений водопровода и канализации . . . . .</b>	<b>265</b>
1. Общие замечания . . . . .	265
2. Состав, объем и методика гидрогеологических исследований . . . .	267
3. Прогноз изменения уровня режима грунтовых вод на площадках очистных сооружений при их эксплуатации . . . . .	269
Список литературы . . . . .	275
Предметный указатель . . . . .	282

ИБ № 2891

АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ АРЦЕВ

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ**

Редактор издательства Л И Березовская  
Переплет художника К В Голиков  
Художественный редактор В В Гудокимов  
Технические редакторы О Ю Трепенок,  
Л Г Лаврентьева  
Корректор Т М Столярова

---

Сдано в набор 24 10 78 Подписано в печать 02 04 79  
Т 06067 Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub> Бумага кн -журн  
Гарнитура литературная Печать высокая  
Печ л 18,0 Уч изд л 19,90 Тираж 8200 экз  
Заказ 1144/7355—2 Цена 1 р 10 к

---

Издательство «Недра», 103633, Москва,  
К 12, Третьяковский проезд, 1/19

---

Ленинградская типография № 6 Ленинградского  
производственного объединения «Техническая книга»  
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли  
193144, Ленинград, С-144, ул Момсенко, 10